

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2003年7月24日 (24.07.2003)

PCT

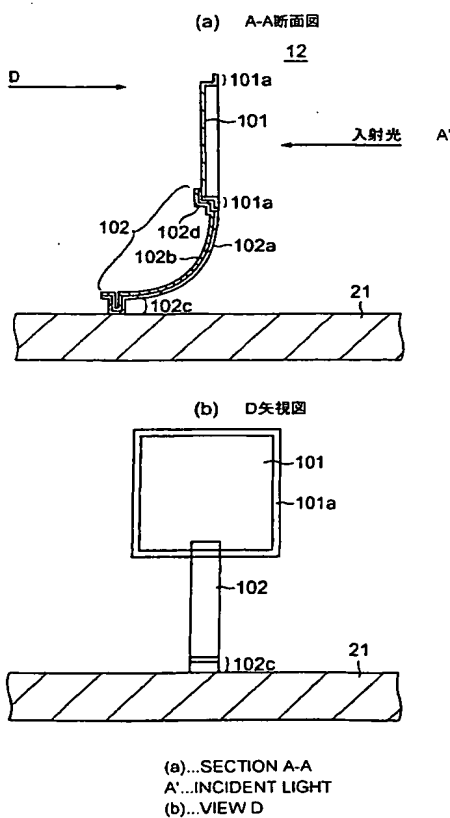
(10) 国際公開番号
WO 03/060592 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02B 26/08 特願 2002-301878
2002年10月16日 (16.10.2002) JP
- (21) 国際出願番号: PCT/JP02/13292
- (22) 国際出願日: 2002年12月19日 (19.12.2002)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2002-2729 2002年1月9日 (09.01.2002) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 石津谷 徹 (ISHIZUYA, Tohru) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 鈴木 純児 (SUZUKI, Junji) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL ELEMENT, THIN-FILM STRUCTURAL BODY, OPTICAL SWITCH, AND OPTICAL ELEMENT MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 光学素子、薄膜構造体、光スイッチ、および、光学素子の製造方法



(57) Abstract: An optical element having a reflecting part capable of reflecting luminous flux in a specified direction, comprising a substrate (21), the light reflecting part (101), and a support part (102) for supporting the light reflecting part (101) on the substrate (21), wherein the light reflecting part (101) and support part (102) are formed of one or more films, and the support part (102) is fixed to the substrate (21) at one end (102c) and the other end (102d) is fixed to the film forming the light reflecting part (101) and curved from the one end (102c) toward the other end (102d) to support the principal plane of the film forming the light reflecting part (101) non-parallel with, for example, vertical to the principal plane of the substrate (21).

[続葉有]



ニコン内 Tokyo (JP). 鈴木 美彦 (SUZUKI, Yoshihiko) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 三品 岩男 (MISHINA, Iwao); 〒220-0004 神奈川県横浜市西区北幸二丁目9-10 横浜HSビル7階 Kanagawa (JP).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

光束を所望の方向へ反射可能な反射部を備えた光学素子を提供する。基板21と、光反射部101と、光反射部101を基板21上に支持する支持部102とを有する。光反射部101および支持部102は、それぞれ、1以上の膜によって構成される。支持部102は、一端102cが基板21に固定され、他端102dが光反射部101を構成する膜と接続され、一端102cから他端102dに向かって湾曲することにより、光反射部101を構成する膜の主平面を、基板21の主平面に対して非平行、例えば垂直に支持している。

明細書

光学素子、薄膜構造体、光スイッチ、および、光学素子の製造方法

技術分野

本発明は、薄膜により形成された光学素子、および、この光学素子を備えた光スイッチに関するものである。

背景技術

微小なミラーをアクチュエータにより移動させて光路中に挿入することにより、光路を切り換える光スイッチが例えば特開 2 0 0 1 - 4 2 2 3 3 号公報に記載されている。この光スイッチは、マイクロマシニング技術によって、微小なミラーを搭載した可動電極板を形成している。微小なミラーは、反射面が可動電極板の主平面に対して垂直である。可動電極板と対向する位置には、固定電極が配置され、可動電極板と固定電極との間に電圧を印加することにより、静電力により、可動電極板を移動させる。これにより、微小なミラーを光路中に挿入したり、光路中から取り出したりする構造である。

上記特開 2 0 0 1 - 4 2 2 3 3 号公報に記載の光スイッチでは、可動電極板上にミラーを形成するために、可動電極板となる薄膜上に、ミラーの高さ分の厚さを有するフォトレジスト膜を形成し、フォトレジスト膜にミラーの形状のエッチングホールを設け、エッチングホール内にめっき法に金属膜を成長させた後、フォトレジスト膜を除去している。

また、特開 2 0 0 1 - 1 4 2 0 0 8 号公報にも、微小なミラーをアク

チュエータ上に搭載し、アクチュエータによりミラーを光路中に移動させて、光路を切り換える光スイッチが開示されている。

また、Sensors and Actuators A,33(1992)249-256、
"Microfabricated Hinges"には、基板上にプレートとなる膜を成膜し、このプレートを基板に対して垂直に起こすことにより、基板に垂直なプレートを形成することが開示されている。プレートとなる膜の形成プロセスにおいて、プレートの一方の端部と、基板とを接続するヒンジ構造を形成している。このヒンジを中心にプレートを起こし、微細な垂直構造体を形成している。

発明の開示

上記特開 2 0 0 1 - 4 2 2 3 3 号公報に記載の光スイッチの微小なミラーは、上述のように、ミラーの高さ分だけ厚く形成されたフォトレジスト膜にエッチングホールを設け、このエッチングホールにめっき法により金属膜を充填することにより形成される。このため、ミラー面は、エッチングホールの側面の表面形状を反転した形状となる。現状のフォトレジスト膜のエッチング技術では、エッチングホールの側面の主平面に対する角度を制御することは難しく、しかも、側面の表面粗さを滑らかにすることも難しい。このため、特開 2 0 0 1 - 4 2 2 3 3 号公報に記載の方法で、可動電極板に対して反射面が垂直で、反射率の高いミラーを製造することは困難であった。

また、特開 2 0 0 1 - 1 4 2 0 0 8 号公報には、微小なミラー構造および製造方法についての詳しい記載はなされていない。

また、Sensors and Actuators A,33(1992)249-256、
"Microfabricated Hinges"に記載のプレートをヒンジにより垂直に起こ

して支える構成を、光スイッチのミラーに応用することが考えられるが、薄膜プロセスで形成されたプレートを、薄膜プロセスで形成された立体構造のヒンジにより垂直に支える構成であるため、ガタが生じやすく、強度も得にくい。このため基板面に対してプレートを垂直に維持することは難しい。

本発明は、光束を所望の方向へ反射可能な反射部を備えた光学素子を提供することを目的とする。

上記目的を達成するために、本発明によれば、以下のような光学素子が提供される。

すなわち、基板と、光反射部と、前記光反射部を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記光反射部および支持部は、それぞれ、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が前記光反射部を構成する膜と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光学素子である。

上記光学素子において、前記支持部は、前記光反射部を構成する膜の主平面を前記基板に対して垂直に支持している構成にすることが可能である。

上記光学素子において、前記支持部は、熱膨張係数の異なる2以上の膜を積層した構成にすることが可能である。

上記光学素子において、前記光反射部を構成する膜の主平面と前記基板の主平面との角度を一定に維持する保持部を有する構成にすることが可能である。

上記光学素子において、前記保持部は前記光反射部と前記基板との間に挿入された角度保持部であり、前記角度保持部は、一方の端部が前記基板に固定され、前記一方の端部から他方の端部に向かって湾曲した膜を有する構成にすることが可能である。

上記光学素子において、前記角度保持部は前記光反射部もしくは前記支持部のいずれかと接触し、前記光反射部もしくは前記支持部の前記接触部分に、前記角度保持部と前記反射部もしくは前記支持部との相対的な位置のズレを防止する位置ズレ防止手段を有する構成にすることが可能である。

上記光学素子において、前記位置ズレ防止手段が前記光反射部もしくは前記支持部に形成された凹溝構造である構成にすることが可能である。

上記光学素子において、前記角度保持部の前記膜の膜面は、前記光反射部の主平面に対して垂直であり、前記角度保持部の前記膜の側面が前記光反射部と接している構成にすることが可能である。

上記光学素子において、前記角度保持部は、前記光反射部の主平面の両側に少なくとも1以上つつ配置されている構成にすることが可能である。

上記光学素子において、前記角度保持部の前記膜の湾曲の向きは、前記支持部を構成する膜の湾曲の向きと逆向きであり、

前記角度保持部の前記膜の他方の端部には、第2の光反射部が接続され、該第2の光反射部は、前記光反射部と重なっている構成にすることが可能である。

上記光学素子において、前記光反射部は、前記支持部の前記湾曲した膜の前記他方の端部から前記基板に向けてつり下げられている構成にすることが可能である。

上記光学素子において、前記保持部が前記光反射部を構成する部材の一部と接する薄膜立体構造体であり、該薄膜立体構造体は、前記基板上に順に積み重ねられた複数の単位構造部材を有し、前記単位構造部材は、支持部と、該支持部によって支持された平面部とを含み、前記支持部および平面部は、連続した薄膜より一体に構成され、積み重ねられた前記単位構造部材は、互いが接触する部分において、前記薄膜同士が固着している構成にすることが可能である。

上記光学素子において、前記薄膜立体構造体は前記光反射部もしくは前記支持部のいずれかと接触し、前記光反射部もしくは前記支持部の前記接触部分に、前記薄膜立体構造体と前記光反射部もしくは前記支持部との相対的なズレを防止する位置ズレ防止手段を有する構成にすることが可能である。

上記光学素子において、前記位置ズレ防止手段が前記光反射部もしくは前記支持部に形成された凹溝構造の構成にすることが可能である。

また、本発明によれば、以下のような光学素子が提供される。

すなわち、基板と、光反射部と、前記光反射部を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記光反射部は、膜によって構成され、

前記支持部は、連結された２以上の部材からなり、該部材のうち第１の部材は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記光反射部を構成する膜と接続され、前記第１の部材は、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光学素子である。

上記光学素子において、前記支持部は、第２の部材を含み、該第２の部材は湾曲した膜であり、該第２の部材の湾曲の向きは、前記第１の部

材の湾曲の向きとは逆向きである構成にすることが可能である。

上記光学素子において、前記光反射部を構成する膜は、周縁部に段差が形成されている構成にすることが可能である。

上記光学素子において、前記支持部の温度を一定に維持するための温度調節部をさらに有する構成にすることが可能である。

上記光学素子において、前記光反射部は、該光反射部を構成する膜の成膜時に前記基板側であった面を光反射面として用いる構成にすることが可能である。

また、本発明によれば、以下のような薄膜構造体が提供される。

すなわち、基板と、平面板と、前記平面板を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記支持部は、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が前記平面板と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記平面板の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする薄膜構造体である。

また、本発明によれば、以下のような薄膜構造体が提供される。

すなわち、基板と、平面板と、前記平面板を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記支持部は、連結された2以上の部材からなり、該部材のうち第1の部材は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記平面板と接続され、前記第1の部材は、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記平面板の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする薄膜構造体である。

また、本発明によれば、以下のような光スイッチが提供される。

すなわち、ミラー部と、前記ミラー部を搭載した可動部とを有し、
前記ミラー部は、光反射部と、前記光反射部を前記可動部上に支持する支持部とを有し、

前記光反射部および支持部は、それぞれ、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記可動部に固定され、他方の端部が前記光反射部を構成する膜と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面を、前記可動部の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光スイッチである。

また、本発明によれば、以下のような光スイッチが提供される。

すなわち、ミラー部と、前記ミラー部を搭載した可動部とを有し、
前記ミラー部は、光反射部と、前記光反射部を前記可動部上に支持する支持部とを有し、

前記光反射部は、膜によって構成され、

前記支持部は、連結された2以上の部材からなり、該部材のうち第1の部材は、一方の端部が前記可動部に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記光反射部を構成する膜と接続され、前記第1の部材は、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面を、前記可動部の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光スイッチである。

また、本発明によれば、以下のような光学素子の製造方法が提供される。

すなわち、基板上に、開口を有する犠牲層を形成する工程と、

前記犠牲層上の前記開口にかかる位置に予め定めた形状の支持膜を形成するとともに、前記犠牲層上の前記支持膜の一方の端部に接続される

位置に光反射膜を形成する工程と、

前記犠牲層を除去することにより、前記支持膜の内部応力により前記支持膜を湾曲させて、前記光反射膜の主平面を前記基板の主平面に対して非平行に支持させることを特徴とする光学素子の製造方法である。

上記光学素子の製造方法において、前記犠牲層をレジストにより形成する方法にすることが可能である。

上記光学素子の製造方法において、前記支持膜を熱膨張係数の異なる2以上の層の積層体により形成する方法にすることが可能である。

また、本発明によれば、以下のような光スイッチが提供される。

すなわち、光反射部材を含むミラー部、該ミラー部を搭載した可動部と、前記光反射部材の角度を維持するために前記ミラー部を構成する部材の一部と接する保持部とを有し、

前記保持部は、薄膜立体構造体であり、

該薄膜立体構造体は、前記可動部上に順に積み重ねられた複数の単位構造部材を有し、

前記単位構造部材は、支持部と、該支持部によって支持された平面部とを含み、前記支持部および平面部は、連続した薄膜により一体に構成され、

積み重ねられた前記単位構造部材は、互いが接触する部分において、前記薄膜同士が固着していることを特徴とする光スイッチである。

上記光スイッチにおいて、前記薄膜立体構造体は前記光反射部もしくは前記支持部のいずれかと接触し、前記光反射部もしくは前記支持部の前記接触部分に、前記薄膜立体構造体と前記光反射部もしくは前記支持部との相対的なズレを防止する位置ズレ防止手段を有する構成にすることが可能である。

上記光スイッチにおいて、前記位置ズレ防止手段が前記光反射部もし

くは前記支持部に形成された凹溝構造の構成にすることが可能である。

上記光スイッチにおいて、前記ミラ一部は、前記光反射部材を前記可動部上に支持するために支持部とを有する構成にすることができ、

この場合、前記支持部は、連結された2以上の部材からなり、該部材のうち第1の部材は、一方の端部が前記可動部に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記光反射部材と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部材を前記可動部の主平面に対して非平行に支持する構成にすることができる。

上記光スイッチにおいて、前記単位構造部材を構成する薄膜は、周縁に段差が形成されている構成にすることができる。

上記光スイッチにおいて、上段に位置する前記単位構造部材の前記支持部が、すぐ下の段の前記単位構造部材の平面部に搭載された形状であることが可能である。

上記光スイッチにおいて、積み重ねられた前記単位構造部材は、上段に位置する前記単位構造部材ほど、前記支持部の数が少ない構成にすることが可能である。

上記光スイッチにおいて、複数の前記単位構造部材のうち、最下段の単位構造部材は、前記可動部と一体に構成されている構成にすることができる。

上記光スイッチにおいて、複数の前記単位構造部材のうち、少なくとも一つの単位構造部材は、前記ミラ一部を構成する部材を成す薄膜と同一の薄膜をパターンニングすることにより構成することができる。

上記光スイッチにおいて、前記単位構造部材を構成する薄膜は、3層膜であり、該3層膜のうち最上層の膜と最下層の膜とは、同じ材質である構成にすることができる。

また、本発明によれば、以下のような光スイッチが提供される。

すなわち、光反射部材を含むミラー部、該ミラー部を搭載した可動部と、前記光反射部材の角度を維持するために前記ミラー部を構成する部材の一部と接する保持部とを有し、

前記保持部は、薄膜立体構造体であり、

該薄膜立体構造体は、前記可動部上に順に積み重ねられた複数の単位構造部材を有し、

前記単位構造部材は、中空の開口を有する支持部と、前記開口を覆う平面部と、前記支持部の前記中空の開口を充填する充填材とを含み、前記支持部および前記平面部は、それぞれ薄膜によって形成され、

積み重ねられた前記単位構造部材は、上段に位置する前記単位構成部材の前記支持部が、すぐ下の段の前記単位構造部材の前記平面部に搭載された形状であることを特徴とする光スイッチである。

上記光スイッチにおいて、前記薄膜立体構造体は前記光反射部もしくは前記支持部のいずれかと接触し、前記光反射部もしくは前記支持部の前記接触部分に、前記薄膜立体構造体と前記光反射部もしくは前記支持部との相対的なズレを防止する位置ズレ防止手段を有する構成にすることが可能である。

上記光スイッチにおいて、前記位置ズレ防止手段が前記光反射部もしくは前記支持部に形成された凹溝構造である構成にすることが可能である。

上記光スイッチにおいて、上段に位置する前記単位構造部材の前記支持部を構成する前記薄膜と、それを搭載する下の段の前記単位構造部材の前記平面部を構成する前記薄膜とが、固着している構成にすることができる。

また、本発明によれば、以下のような光スイッチが提供される。

すなわち、基板と、一方の端部が基板に固定された可動部と、前記可

動部の他方の端部に搭載されたミラー部とを有し、

前記可動部は、2以上の膜によって構成され、該2以上の膜の内部応力によって湾曲することにより、前記ミラー部を搭載した他方の端部を前記基板上に持ち上げる構成であり、

前記ミラー部は、光反射面が、前記基板の主平面に対して垂直方向を向くように前記可動部に搭載された光反射部材を有し、

該光反射部材は、上端の縁が、前記可動部が前記ミラー部を持ち上げた状態で、前記基板に対して平行になるように、傾斜して前記可動部に搭載されていることを特徴とする光スイッチである。

また、本発明によれば、以下のような光学素子が提供される。

すなわち、基板と、所望の光学特性をもつ光学膜と、前記光学膜を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記支持部は、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が、直接または他の部材を介して前記光学膜を構成する膜と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光学膜を構成する膜の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光学素子である。

また、本発明によれば、以下のような光学装置が提供される。

すなわち、光学素子と、前記光学素子を搭載した可動部と、前記可動部を保持する基板とを有し、

前記可動部は、1以上の膜からなり、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部側に前記光学素子が搭載され、少なくとも前記固定された前記一方の端部に近い部分は、2以上の膜が積層された積層体からなり、前記積層体が内部応力によって湾曲することにより前記他方の端部を前記基板から離れた位置に支持する構成であり、

前記可動部には、前記光学素子を搭載している部分の周縁に沿って段差が形成されていることを特徴とする光学装置である。

上記光学装置において、前記段差を形成するために、前記可動部を構成する膜には、前記光学素子を搭載している部分の周縁に沿って凸部が形成されている構成にすることができる。

また、本発明によれば、以下のような光学装置が提供される。

すなわち、光学素子と、前記光学素子を搭載した可動部と、前記可動部を保持する基板とを有し、

前記可動部は、少なくとも一部が2以上の膜からなる積層体であり、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部側に前記光学素子が搭載され、前記積層体が内部応力によって湾曲することにより前記他方の端部を前記基板から離れた位置に支持する構成であり、

前記積層体は、金属膜を含み、前記金属膜は、予め定められたパターンにパターニングされており、前記パターンは、静電力により前記可動部を駆動するための電極として作用する静電力用電極パターンを含むことを特徴とする光学装置である。

上記光学装置において、前記金属の膜の前記パターンは、さらに、ローレンツ力により前記可動部を駆動するための電流経路として作用するローレンツ力用電流路パターンを含む構成にすることができる。

上記光学装置において、前記静電力用電極パターンおよび前記ローレンツ力用電流路パターンは、それぞれ、前記基板に固定された前記一方の端部を介して、前記基板の電圧印加配線および電流供給配線と接続されている構成にすることができる。

上記光学装置において、前記光学素子は、所望の光学特性をもつ光学膜と、前記光学膜を前記可動部上に支持する支持部とを有する構成にすることが可能であり、

前記支持部は、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が、直接または他の部材を介して前記光学膜を構成する膜と接続され、前記支持部は、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光学膜を構成する膜の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持する構成にすることができる。

図面の簡単な説明

図1(a)は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチのミラー12のA-A断面図であり、図1(b)は、図1(a)のミラー12のD矢視図である。

図2は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチの上面図である。

図3は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチのB-B断面図である。

図4は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチのC-C断面図である。

図5は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチに電圧を印加し、可動板21を下位置に移動させた場合のB-B断面図である。

図6は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチに印加する電圧と、ミラー12(可動板21)の位置との関係を示すグラフである。

図7(a)および(b)は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチの製造工程を示す断面図である。

図8(c)～(g)は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチのミラーの製造工程を示すための可動板21の拡大断面図である。

図9(h)は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチの製造工程を

示す断面図である。

図 10 (a) は、本発明の第 2 の実施の形態の光スイッチのミラー 112 の断面図であり、図 10 (b) は、図 10 (a) のミラー 112 の E 矢視図である。

図 11 は、本発明の第 2 の実施の形態の光スイッチのミラー 112 の製造工程のアッシング前の状態を示す上面図である。

図 12 は、本発明の第 3 の実施の形態の光スイッチのミラー 113 の断面図である。

図 13 は、本発明の第 3 の実施の形態の光スイッチのミラー 113 の製造工程のアッシング前の状態を示す上面図である。

図 14 (a) ~ (e) は、本発明の第 3 の実施の形態の光スイッチのミラー 113 の製造工程を F-F 断面方向について示す断面図である。

図 15 (a) は、本発明の第 4 の実施の形態の光スイッチのミラー 116 の側面図であり、図 15 (b) は、本発明の第 4 の実施の形態の光スイッチのミラー 116 の製造工程のアッシング前の状態を示す上面図である。

図 16 は、本発明の第 5 の実施の形態の光スイッチのミラー 117 の断面図である。

図 17 は、本発明の第 5 の実施の形態の光スイッチのミラー 117 の製造工程のアッシング前の状態を示す上面図である。

図 18 (a) は、本発明の第 6 の実施の形態の光スイッチのミラー 118 の断面図であり、図 18 (b) は、図 18 (a) のミラー 118 の G 矢視図である。

図 19 は、本発明の第 6 の実施の形態の光スイッチのミラー 118 の製造工程のアッシング前の状態を示す上面図である。

図 20 (a) ~ (c) は、本発明の第 6 の実施の形態の光スイッチの

ミラー 1 1 8 の製造工程を H-H 断面方向について示す断面図である。

図 2 1 (d) ~ (f) は、本発明の第 6 の実施の形態の光スイッチのミラー 1 1 8 の製造工程を H-H 断面方向について示す断面図である。

図 2 2 は、本発明の第 7 の実施の形態の光スイッチング装置を示す説明図である。

図 2 3 は、本発明の第 8 の実施の形態の光スイッチの可動板 2 3 1 の構成を示す斜視図である。

図 2 4 は、本発明の第 8 の実施の形態の光スイッチの光導波路基板 2 4 0 の構成を示す斜視図である。

図 2 5 (a) は、本発明の第 8 の実施の形態の光スイッチの電圧印加時の構成を示す断面図であり、図 2 5 (b) は本発明の第 8 の実施の形態の光スイッチの電圧を印加していない時の構成を示す断面図である。

図 2 6 は、本発明の第 9 の実施の形態の光スイッチの可動板 2 3 1 上のミラー 1 1 8 と薄膜立体構造体 5 の構成を示す斜視図である。

図 2 7 (a) は、図 2 6 の薄膜立体構造体 5 の上面図、図 2 7 (b) は、図 2 6 の薄膜立体構造体 5 の I-I 断面図、図 2 7 (c) は、図 2 6 の薄膜立体構造体 5 の J-J 断面図である。

図 2 8 は、図 2 6 の光スイッチのミラー 1 1 8 の製造工程の途中工程におけるミラー 1 1 8 の各部のパターンを示す上面図である。

図 2 9 (a) ~ (c) は、図 2 6 の光スイッチのミラー 1 1 8 および薄膜立体構造体 5 の製造工程を示す K-K 断面図である。

図 3 0 (d) ~ (f) は、図 2 6 の光スイッチのミラー 1 1 8 および薄膜立体構造体 5 の製造工程を示す K-K 断面図である。

図 3 1 は、図 2 6 の光スイッチの薄膜立体構造体 5 に代えて搭載可能な薄膜立体構造体 3 0 0 2 の構造を示す断面図である。

図 3 2 は、図 2 6 の光スイッチの薄膜立体構造体 5 に代えて搭載可能

な薄膜立体構造体 3 0 0 3 の構造を示す断面図である。

図 3 3 は、図 2 6 の光スイッチの薄膜立体構造体 5 に代えて搭載可能な薄膜立体構造体 3 0 0 4 の構造を示す断面図である。

図 3 4 (a) は、本発明の第 1 0 の実施の形態の光スイッチの可動板 2 3 1 上のミラー 1 1 8 構成を示す断面図であり、図 3 4 (b) は、図 3 4 (a) の L 矢視図である。

図 3 5 は、図 3 4 の光スイッチのミラー 1 1 8 の製造工程の途中工程におけるミラー 1 1 8 の各部のパターンを示す上面図である。

図 3 6 (a) は、本発明の第 9 の実施の形態の光スイッチの可動板 2 3 1 の上面図であり、図 3 6 (b) は、図 3 6 (a) の M-M 断面図である。

図 3 7 は、本発明の第 9 の実施の形態の光スイッチの可動板 2 3 1 において A 1 膜 3 6 2 の上面から見たパターン形状を示す説明図である。

図 3 8 は、本発明の第 9 の実施の形態の光スイッチを駆動する際に供給するローレンツ力用電流波形および静電力用電圧波形と、そのときの可動板 2 3 1 との関係を示すグラフである。

図 3 9 は、本発明の第 9 の実施の形態の光スイッチの、可動板 2 3 1 の斜視図である。

図 4 0 (a) は、本発明の第 9 の実施の形態の光スイッチにおいて、可動板 2 3 1 を引き下げた状態の構成を示す断面図であり、図 4 0 (b) は、可動板 2 3 1 がミラー 1 1 8 を持ち上げた状態の構成を示す断面図である。

図 4 1 (a) は、本発明の第 1 0 の実施の形態の光スイッチにおいて、可動板 2 3 1 を引き下げた状態の構成を示す断面図であり、図 4 0 (b) は、可動板 2 3 1 がミラー 1 1 8 を持ち上げた状態の構成を示す断面図である。

図４２は、本発明の第１１の実施の形態の光スイッチの可動板２３１上のミラー１１８と薄膜立体構造体５の構成を示す斜視図である。

図４３（ａ）は第１１の実施の形態における薄膜立体構造体５の突起部７１と反射部支持部１０５との接触部分の関係を示す図であり、図４３（ｂ）は、第９の実施の形態における薄膜立体構造体５の突起部７１と反射部支持部１０５との接触部分の関係を示す図である。

図４４は、図４２の光スイッチのミラー１１８の製造工程の途中工程におけるミラー１１８の各部のパターンを示す上面図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の一実施の形態について図面を用いて説明する。

(第1の実施の形態)

第1の実施の形態の光スイッチを図1(a)、図1(b)、図2、図3、図4を用いて説明する。

光スイッチは、図2、図3、図4のように凹部13が形成された半導体基板11と、可動板21と、可動板21を前記基板11上に支持する2本のバネ部27a、27bとを有する。可動板21の上には、ミラー12が搭載されている。基板11の下部には、ミラー12の温度を設定した温度に維持するために、例えばペルチェ素子等の温度調節素子(不図示)が配置されている。

ミラー12は、図1に示したように、反射部101と、これを可動板21上に支持する支持部102とにより構成されている。反射部101はAl膜からなる。反射部101のAl膜の外縁部は、剛性を出すために段差が形成され、縁101aを形成している。支持部102は、窒化シリコン膜102aとAl膜102bとを積層した膜からなり、可動板21側に窒化シリコン膜102aが位置している。支持部102の先端の接続部102dには、反射部101が固定され、他端は凸型に屈曲されて脚部102cを構成している。脚部102cは可動板21に固定されている。

支持部102は、窒化シリコン膜102aとAl膜102bの熱膨張係数の差異によって生じる応力ならびに成膜時に生じた応力により、脚部102cから先端の接続部102dまで円弧状に湾曲し、反射部101の主平面を可動板21の主平面に対して所望の角度、本実施の形態では垂直に支持している。支持部102の膜構造の場合、温度が高温にな

ると湾曲の曲率半径が大きくなり、温度が低温になると湾曲の曲率半径が小さくなる性質を有する。また、支持部 102 の湾曲の曲率半径は、窒化シリコン膜 102a と Al 膜 102b の膜厚等に依存する。よって、支持部 102 は、温度調節素子（不図示）によって維持される温度において、反射部 101 の主平面を可動板 21 の主平面に対して垂直に支持する湾曲状態となるように、支持部 102 の窒化シリコン膜 102a と Al 膜 102b の膜厚等、および、脚部 102c から先端の接続部 102d までの長さは、予め設計されている。

一方、可動板 21 は、図 3 のように積層された 2 層の絶縁膜 22、26 と、それらの間に配置された電極膜 23a とにより構成されている。2 層の絶縁膜 22、26 としては、例えば窒化シリコン膜または酸化シリコン膜を用いることができる。電極膜 23a は、Al 膜等の金属膜により構成される。バネ部 27a、27b は、上記絶縁膜 22、26 を図 2 のように曲がりくねった形状にパターンニングすることによりバネ性を持たせている。よって、可動板 21 は、図 2、図 3、図 4 の Z 軸方向に移動可能である。なお、バネ部 27b には、絶縁膜 22、26 の間に、配線 23b が配置されている。配線 23b は、一端が電極膜 23a に接続され、他端は外部の電源と接続するために基板 11 の上面側または下面側に引き出されている。

よって、本実施の形態の光スイッチは、配線 23b を外部電源に接続して、図 6 に示すように可動板 21 の電極膜 23a と、半導体基板 11 との間に電圧 V を印加すると、電極膜 23a と半導体基板 11 とが静電力によって引き合い、可動板 21 は、図 5 のように半導体基板 11 の凹部 13 の底面に引きつけられる。また、電圧 V を印加していない状態では、可動板 21 は、バネ部 27a、27b が伸縮する力により、基板 11 の上面位置に保持される。これにより、電極膜 23a と半導体基板 11

1 との間に電圧 V を印加するか否かにより、図 6 のように、可動板 2 1 の位置を基板 1 1 の上面位置（上側位置）または凹部 1 3 の底面位置（下側位置）に切り換えて配置することができる。これに伴い可動板 2 1 に搭載されているミラー 1 2 も上側位置または下側位置に配置される。

よって、本実施の形態の光スイッチを使用する場合には、図 3 のように、可動板 2 1 が上側位置にあるときのミラー 1 2 の反射部 1 0 1 と交差する位置に光路 1 3 0 を設定する。これにより、電極膜 2 3 b と基板 1 1 との間に電圧 V を印加していない場合には、可動板 2 1 が上側位置にあるため、光路 1 3 0 中にミラー 1 2 が挿入された状態となり、 x 方向から入射した入射光はミラー 1 2 により反射されて y 方向に偏向される。一方、電圧 V を印加した場合には、図 5 のように可動板 2 1 が下側位置に移動するため、ミラー 1 2 は光路 1 3 0 からはずれ、入射光はミラー 1 2 の上を通過し、そのまま直進する。このように、本実施の形態の光スイッチは、電極膜 2 3 a と基板 1 1 との間に電圧 V を印加するかどうかにより、入射光の進行方向を切り換えることができる。

本実施の形態の光スイッチは、ミラー 1 2 として、A 1 膜からなる反射部 1 0 1 を支持部 1 0 2 によって垂直に支持しているため、A 1 膜の膜面を反射面とすることができ、反射率が高い。また、支持部 1 0 2 は、温度を制御することにより、反射部 1 0 1 を垂直に維持することができるため、入射光の反射方向を精度良く定めることができる。

以下、本実施の形態の光スイッチの製造方法を図 7 (a)、(b)、図 8 (c) ~ (g)、図 9 (h) を用いて説明する。

図 7 (a) のように半導体基板 1 1 として、シリコン基板を用意し、必要に応じて駆動回路や配線等を予め形成しておく。この基板 1 1 の表面に SiO_2 膜 3 2 を成膜する。 SiO_2 膜 3 2 には、基板 1 1 とバネ部 2 7 a、2 7 b とが接続される部分に開口を設けておく。 SiO_2 膜

32 上に、可動板 21 とバネ部 27 a、27 b を構成する絶縁膜 22 を成膜し、その上に電極膜 23 a および配線 23 b となる A1 膜を成膜する。その後、A1 膜を電極膜 23 a および配線 23 b の形状にフォトリソグラフィーの手法によりパターンニングする。さらに、この上に、絶縁膜 26 を成膜し、絶縁膜 22、26 をフォトリソグラフィーの手法により、可動板 21 およびバネ部 27 a、27 b の形状にパターンニングする。つぎに、図 7 (b) のように SiO₂ 膜 32 にエッチングホール 32 a を形成する。このエッチングホール 32 a は、後の工程で基板 11 に凹部 13 を形成する際に、エッチング液を基板 11 まで到達させるために用いられる。

上記工程により形成された可動板 21 の上に、ミラー 12 を形成する。この工程を図 8 (c) ~ (g) を用いて説明する。図 8 (c) ~ (g) は、可動板 21 の上面部を拡大して示している。まず、可動板 21 の上に、厚さ 1.5 μ m のレジスト層 81 を形成する。レジスト層 81 に、支持部 102 の脚部 102 c となる位置に、フォトリソグラフィーの手法により開口 81 a を設ける (図 8 (c))。つぎに、レジスト層 81 上に、再び厚さ 1.5 μ m のレジスト層 82 を形成し、フォトリソグラフィーの手法により、ミラー 12 の反射部 101 の位置を残して除去し、レジスト層 82 のアイランドを形成する (図 8 (d))。これらレジスト層 81、82 は、最終的には除去される層 (犠牲層) である。

レジスト層 81、82 の上に厚さ 5000 オングストロームの A1 膜を蒸着し、フォトリソグラフィーとエッチングの手法により、ミラー 12 の反射部 101 の形状にパターンニングする (図 8 (e))。反射部 101 の A1 膜の下には、レジスト層 82 のアイランドが形成されているため、アイランドの縁で反射部 101 の A1 膜に段差が形成され、反射部 101 の縁 101 a が形成される。さらに、全面に窒化シリコン膜 1

02aとAl膜102bを蒸着により成膜し（図8（f））、フォトリソグラフィとエッチングの手法により、支持部102の形状にパターンニングする（図8（g））。窒化シリコン膜102aとAl膜102bの厚さは、いずれも2000オングストロームである。支持部102の窒化シリコン膜102aとAl膜102bのうち、開口81aの内部に形成された部分は、脚部102cを構成する。また、支持部102の先端の接続部102dは、反射部101のAl膜に積層されたことにより、反射部101と接続される。

つぎに、KOH溶液をエッチングホール32aを介して基板11に注入し、基板11をエッチングし、凹部13を形成する（図9（h））。この後、残存しているSiO₂膜32を除去する。これにより、可動板21は、図3、図4のようにバネ部27a、27bにより凹部13の上部に支持された状態となる。ただし、この状態では、ミラー12は、まだ立ち上がっていないため、犠牲層であるレジスト層81、82をアッシングにより除去する。これにより、図1（a）に示したようにミラー12は、脚部102cのみで可動板21に固定される構造となり、支持部102は、窒化シリコン膜102aとAl膜102bの成膜時の応力、ならびに、熱膨張係数の差異により生じる応力により湾曲して立ち上がり、反射部101を支持する。

よって、温度調節素子（不図示）により、支持部102の温度を予め定めた温度に調節することにより、支持部102は、図1（a）のように、反射部101の主平面（反射面）を可動板21の主平面に対して垂直に支持する位置まで湾曲する。これにより、可動板21の上にミラー12の反射面が垂直に支持された光スイッチを得ることができる。

上述してきたように、本実施の形態のミラー12は、製造時には可動板21の主平面に平行に形成された反射部101の主平面を、支持部1

02が湾曲することにより90度持ち上げる構成であるため、反射部101の反射面は、反射部101を構成するA1膜の成膜時の上面または下面である。このため、反射面を滑らかに形成でき、反射部101の反射率として、高反射率をえることができる。また、反射部101の反射面の向きは、温度調節により、可動板21に主平面に対して垂直にすることができる。よって、本実施の形態のミラー12を備えた光スイッチは、入射光を、高い反射率で所望の方向に偏向することが可能である。

なお、反射部101の反射面としては、成膜時の上面側および下面側の両面を用いることができるが、図1(a)のように、成膜時のA1膜の下面側（可動板21側の面）を反射面として用いた場合に、より高い反射率を得ることができる。というのは、反射部101を構成するA1膜には、成膜後のフォトリソグラフィ等におけるベーク工程や乾燥工程により、加熱されて表面に微細な凹凸が生じることがある。また、現像液や犠牲層のアッシング工程等により条件によっては、A1膜の表面が荒れることがある。このため、このような微細な凹凸や表面の荒れが生じないA1膜の下面側を反射面として用いることにより、より高反射率を得ることが可能である。

また、上述の第1の実施の形態では、ペルチェ素子等の温度調節素子を用いて、ミラー12の支持部102の温度を制御し、反射部101の反射面を可動板21の主平面に垂直、もしくは所望の角度に維持する構成であるが、温度調節素子の代わりに、ミラー12に光を照射して温度を調節し、支持部102の湾曲を制御することも可能である。この場合、光スイッチとしてスイッチングすべき入射光が反射部101に入射する面とは、逆側の面に温度調節のための光を反射部101に入射させるか、もしくは、支持部102に直接温度調節のための光を照射することにより、支持部102の温度を制御することができる。この場合、温度

調節のための光の強度を制御することにより、反射部 102 の反射面の可動板 21 の主平面に対する角度を変化させることができるため、これによりスイッチングする光を反射する方向を変えることも可能である。

(第 2 の実施の形態)

つぎに、第 2 の実施の形態の光スイッチを図 10 (a)、(b) を用いて説明する。

第 2 の実施の形態の光スイッチは、第 1 の実施の形態の光スイッチのミラー 12 に代えて、図 10 (a)、(b) のミラー 112 を可動板 21 に搭載したものである。ミラー 112 以外の光スイッチの構成は、第 1 の実施の形態と同じであるので説明を省略する。

第 2 の実施の形態のミラー 112 は、第 1 の実施の形態のミラー 12 と同様に、反射部 101 を、湾曲した支持部 102 によって支持するという構成であるが、図 10 (b) に示すように、反射部 101 の主平面方向形状を左右に張り出した形状とし、3本の支持部 102 によって支持している。反射部 101 の膜構造、および、支持部 102 の膜構造は、第 1 の実施の形態と同じである。

また、3本の支持部 102 の間に、反射部 101 の可動板 21 に対する角度を一定に維持する保持部として、2本のストップ部 91、92 を配置している。ストップ部 91、92 は、支持部 102 と同じ膜構造であり、支持部 102 と同様に湾曲して立ち上がっている。ストップ部 91、92 の膜の膜面は、反射部 101 に対して垂直に向けられている。このため、ストップ部 91 の側面 91a とストップ部 92 の側面 (図 10 (a) では不図示) は、反射部 101 の片側の面と接し、反射部 101 が、支持部 102 の湾曲によって図 10 (a) の点線で示した位置 101e に向かうのを押し戻している。

第 1 の実施の形態で説明したように、2層構造の支持部 102 は、温

度によって湾曲の曲率半径が変化するため、第 1 の実施の形態のミラー 1 2 で一定の湾曲状態を維持するためには、温度調節が必要であった。第 2 の実施の形態のミラー 1 1 2 は、室温近傍で支持部 1 0 2 の湾曲の曲率半径が、反射部 1 0 1 を可動板 2 1 の主平面に対して垂直に支持する曲率半径よりも小さくなるように、すなわち図 1 0 (a) の点線の位置 1 0 1 e に示したように反射部 1 0 1 が 9 0 度以上の角度に傾むくように、支持部 1 0 2 の長さおよび膜厚を定めておき、ストップ部 9 1 の側面 9 1 a およびストップ部 9 2 の側面 (図 1 0 (a) では不図示) によって反射部 1 0 1 を垂直な位置まで押し戻すようにしている。これにより、温度調節素子を用いることなく、反射部 1 0 1 を垂直に維持することができる。なお、ストップ部 9 1、9 2 の湾曲状態も温度によって変化するが、反射部 1 0 1 と接している側面 9 1 a 等の位置は、製造時の位置から変化しないため、温度変化があっても、常に反射部 1 0 1 を垂直に維持できる。

ストップ部 9 1、9 2 の側面 9 1 a 等の位置は、製造時のフォトリソグラフィの工程により、反射部 1 0 1 に対して精度良く位置合わせすることができるため、第 2 の実施の形態のミラー 1 1 2 は、反射部 1 0 1 の主平面を、可動板 2 1 の主平面に対して精度良く垂直に支持することができる。

なお、ストップ部 9 1、9 2 の先端部には、剛性を高めるために、膜に段差をつけることにより形成した凸部 9 1 d、9 2 d が配置されている。

第 2 の実施の形態のミラー 1 1 2 の製造手順は、第 1 の実施の形態のミラー 1 2 とほぼ同じであるが、反射部 1 0 1 となる A 1 膜のパターニング時、ならびに、支持部 1 0 2 の窒化シリコン膜 1 0 2 a と A 1 膜 1 0 2 b のパターニング時に、それぞれ図 1 1 に示したような形状にパタ

ーニングを行う。また、支持部 102 をパターニングする際に、同時に、同じ窒化シリコン膜 102 a および Al 膜 102 b を、図 11 のストップ部 91、92 の形状にパターニングする。ただし、犠牲層のレジスト膜 82 をアイランド状に加工する際に、ストップ部 91、92 の凸部 91 d、92 d を形成すべき部分にもアイランドを残すようにする。これにより、犠牲層のレジスト膜 81、82 をアッシングにより除去することにより、支持部 102 が湾曲して立ち上がるのと同時に、ストップ部 91、92 も湾曲して立ち上がって、図 10 (a)、(b) の形状となり、反射部 101 を可動板 21 の主平面に対して垂直に支持する構造となる。

本実施の形態のミラー 112 を搭載した光スイッチは、温度調節装置を用いることなく、反射率の高い反射部 101 を可動板 21 に対して垂直に精度良く保持でき、光を所望の方向に精度良く反射することができる。

なお、本実施の形態のミラー 112 を搭載した光スイッチは、第 1 の実施の形態の光スイッチと同じように温度調節装置を用いても良い。温度調節装置を用いた場合には、温度変化によってストップ部が変形しないため、ストップ部の変形により反射部 101 に擦り傷を生じさせる恐れがないという効果が得られる。

(第 3 の実施の形態)

つぎに、第 3 の実施の形態の光スイッチを図 12 を用いて説明する。

第 3 の実施の形態の光スイッチは、第 1 の実施の形態の光スイッチのミラー 12 に代えて、図 12 のミラー 113 を可動板 21 に搭載したものである。ミラー 113 以外の光スイッチの構成は、第 1 の実施の形態と同じであるので説明を省略する。

第 3 の実施の形態のミラー 113 は、第 2 の実施の形態のミラー 11

2と同様の構造であるが、反射部101を挟んでストップ部91、92と向かい合う位置に、さらにストップ部93、94を配置している点がミラー112とは異なっている（ストップ部94は、図12では不図示）。犠牲層のレジスト層81、82の除去前の反射部101、ストップ部91、92、93、94の形状を図13に示す。犠牲層のレジスト層81、82除去後のストップ部93、94は、ストップ部91、92と同様に、ストップ部93の反射部101側の側面93およびストップ部94の反射部101側の側面がそれぞれ反射部101と接し、反射部101を支持する。よって、反射部101は、両側からストップ部91、92、93、94で支えられているため、何らかの要因で外部から反射部101を倒す方向に力が加わった場合にも、ストップ部91、92、93、94が支え、反射部101を可動板21に対して垂直に保つことができる。このため、外部からの力に対して強度の大きなミラー113を提供することができる。

第3の実施の形態のミラー113を製造する手順について図13、図14(a)～(e)を用いて説明する。ミラー113の製造手順は、第1および第2の実施の形態のミラー12、112とほぼ同様であるが、支持部102およびストップ部91、92、93、94のパターニングの後で反射部101を形成するという手順をとる。

まず、可動板21の上に、レジスト層81を形成し、支持部102の脚部102c、ならびに、ストップ部91、92、93、94の脚部91c、92c、93c、94cを形成すべき位置に、開口81aをフォトリソグラフィーにより形成する（図14(a)）。つぎに、ストップ部91、92、93、94の先端の凸部91d、92d、93d、94dを形成すべき位置に、レジストアイランド（不図示）を形成する。全面に、窒化シリコン膜102aおよびAl膜102bを順に成膜し、

フォトリソグラフィーとエッチングの手法により、図 1 3 に示した支持部 1 0 2、および、ストップ部 9 1、9 2、9 3、9 4 の形状にパターンニングする（図 1 4 (b)）。つぎに、全面にレジスト層 1 4 1 を形成し、支持部 1 0 2 の接続部 1 0 2 d となる位置に開口 1 4 1 a を形成する（図 1 4 (c)）。この上にさらに、レジスト層 8 2 を形成し、反射部 1 0 1 の縁 1 0 1 a の内側形状部分を残して除去し、レジストアイランドを形成する。レジスト層 8 2 の支持部 1 0 2 の接続部 1 0 2 d となる位置に開口 8 2 a を形成する（図 1 4 (d)）。全面に、A1 膜 1 0 1 を形成し、フォトリソグラフィーとエッチングの手法により、反射部 1 0 1 の形状にパターンニングする（図 1 4 (d) および図 1 3）。最後に、アッシングにより、犠牲層のレジスト層 8 1、1 4 1、8 2 を除去する。これにより、支持部 1 0 2 およびストップ部 9 1、9 2、9 3、9 4 が立ち上がり、図 1 2 のミラー 1 1 3 を製造することができる。

（第 4 の実施の形態）

つぎに、第 4 の実施の形態の光スイッチを図 1 5 (a) を用いて説明する。

第 4 の実施の形態の光スイッチは、第 1 の実施の形態の光スイッチのミラー 1 2 に代えて、図 1 5 (a) のミラー 1 1 6 を可動板 2 1 に搭載したものである。ミラー 1 1 6 以外の光スイッチの構成は、第 1 の実施の形態と同じであるので説明を省略する。

第 4 の実施の形態のミラー 1 1 6 は、2 枚のミラー 1 1 4、1 1 5 を 2 枚重ね合わせて立脚させた構成である。2 枚のミラー 1 1 4、1 1 5 それぞれ、反射部 1 0 1 を 2 本の支持部 1 0 2 によって支持した構成である。ただし、図 1 5 (b) に示すように、製造時のパターンニングの際に、ミラー 1 1 4 は、反射部 1 0 1 の反射面が凹面となるように縁 1 0 1 a の段差を形成しているのに対し、ミラー 1 1 5 は、反射部 1 0 1 の

反射面が凸面となるように縁 101a の段差を形成している。また、ミラー 114、115 の支持部 102 は、いずれも、反射部 101 を室温で 90 度以上の角度に傾斜して支持する状態に湾曲するように、膜厚および長さが設計されている。したがって、犠牲層のレジスト層 81 等を除去すると、2 枚のミラー 114、115 は、支持部 102 の湾曲により、いずれも 90 度以上の角度まで傾斜しようとするため、お互いに 90 度の角度に達した位置でぶつかり、傾斜しようとする力がバランスすることにより、2 枚の反射部 101 が可動板 21 に対して垂直な状態で平衡状態となる。このとき、ミラー 114、115 の反射部 101 の凹凸形状が互いに噛み合わさってミラー 114、115 が密着した状態ではずれにくくなる。

このように、第 4 の実施の形態のミラー 116 は、支持部 102 の湾曲する力のバランスによって、反射部 101 の主平面が可動板 21 に対して垂直に保持された、ミラー 116 を提供することができる。

なお、第 4 の実施の形態のミラーは、ミラー 114、115 が、互いに噛み合う凹凸形状の反射部 101 を有しているが、この形状に限らず反射部 101 の凸形状をいずれか一方のミラーのみが備え、他方は、縁 101a のみで、中央部は開口とした形状にすることも可能である。また、ミラー 114、115 の反射部 101 は、噛み合う形状でなくてもよく、両方の反射部 101 を平面にすることも可能である。

(第 5 の実施の形態)

つぎに、第 5 の実施の形態の光スイッチを図 16 を用いて説明する。

第 5 の実施の形態の光スイッチは、第 1 の実施の形態の光スイッチのミラー 12 に代えて、図 16 のミラー 117 を可動板 21 に搭載したものである。ミラー 117 以外の光スイッチの構成は、第 1 の実施の形態と同じであるので説明を省略する。

第5の実施の形態のミラー117は、反射部101を2本の支持部102から下向き（可動板21側）につり下げた形状である。この構造では、反射部102の可動板21からの高さが低く、可動板21が移動した場合にも反射部102が振動しにくいという利点がある。ミラー117の製造手順は、第1の実施の形態のミラー12と同様であるが、反射部101および支持部102をパターニングする際に、図17に示したような形状にパターニングすることにより製造することができる。

なお、本実施の形態の光スイッチは、第1の実施の形態の光スイッチと同様に温度調節装置を用いることが好ましい。

（第6の実施の形態）

つぎに、第6の実施の形態の光スイッチを図18（a）、（b）を用いて説明する。

第6の実施の形態の光スイッチは、第1の実施の形態の光スイッチのミラー12に代えて、図18（a）、（b）のミラー118を可動板21に搭載したものである。ミラー118以外の光スイッチの構成は、第1の実施の形態と同じであるので説明を省略する。

第6の実施の形態のミラー118は、図18（a）、（b）に示したように、2本の支持部102に、それぞれ接続部104を介してさらに支持部103を接続し、2本の支持部103が反射部支持部105を支持している。反射部支持部105には、反射部101が搭載されている。よって、反射部101は、反射部支持部105により、下側から支えられた構造となる。支持部103は、支持部102と同様に、Al膜103aと窒化シリコン膜103bとを積層した構造であるが、湾曲の向きが支持部102の湾曲の方向とは逆に、上向きに凸となるように、Al膜103aと窒化シリコン膜103bの積層の順が支持部102とは逆になっている。

ミラー 1 1 8 の構成は、第 5 の実施の形態のミラー 1 1 7 (図 1 6) の構成と似ているが、反射部 1 0 1 が下から支えられている点と、反射部 1 0 1 が支持部 1 0 2 の脚部 1 0 2 c の近い位置に配置される点が異なる。このため、ミラー 1 1 8 は、反射部 1 0 1 が振動しにくいという特徴がある。なお、ミラー 1 1 8 の反射部 1 0 1 は、製造時に可動板 2 1 側を向いていた側の面の方が鏡面度が高く、反射率が高くなる傾向がある。よって、製造時に可動板 2 1 側を向いていた面を光反射面として用いることが好ましいため、図 1 8 (a) に示した方向から光が入射するように、ミラー 1 1 8 を可動板 2 1 に搭載することが望ましい。

本実施の形態のミラー 1 1 8 の製造工程を図 2 0 (a) ~ (c)、図 2 1 (d) ~ (f) を用いて説明する。支持部 1 0 2、1 0 3、接続部 1 0 4、反射部支持部 1 0 5、反射部 1 0 1 は、図 1 9 のような配置および形状にパターニングされる。図 2 0 (a) ~ (c) および図 2 1 (d) ~ (f) は、図 1 9 の H-H 断面における製造工程を示している。なお、本実施の形態では、支持部 1 0 2 の窒化シリコン膜 1 0 2 a と、支持部 1 0 3 の窒化シリコン膜 1 0 3 b と、接続部 1 0 4 と、反射部支持部 1 0 5 とが、一層の窒化シリコン膜をパターニングすることにより同時に形成される。

まず、可動板 2 1 の上に、レジスト層 8 1 を形成し、支持部 1 0 2 の脚部 1 0 2 c を形成すべき位置に、開口 8 1 a をフォトリソグラフィにより形成する (図 2 0 (a))。つぎに、接続部 1 0 4 ならびに反射部支持部 1 0 5 を形成すべき位置に、レジストアイランド 2 0 1 を形成する (図 2 0 (b))。つぎに、支持部 1 0 3 の A 1 膜 1 0 3 a を成膜し、フォトリソグラフィとエッチングの手法により図 1 9 の支持部 1 0 3 の形状にパターニングする (図 2 0 (c))。つぎに、窒化シリコン膜と A 1 膜 1 0 2 b を順に成膜する (図 2 1 (d))。成膜した A 1

膜 1 0 2 b を図 1 9 の支持部 1 0 2 の形状にパターニングした後、窒化シリコン膜を、支持部 1 0 2、接続部 1 0 4、支持部 1 0 3、反射部支持部 1 0 5 の形状にパターニングする（図 2 1 (e)）。これにより、支持部 1 0 3 の窒化シリコン膜 1 0 3 b と、接続部 1 0 4 と、反射部支持部 1 0 5 とが一度に形成される。

全面にレジスト層 1 4 1 を形成し、反射部支持部 1 0 5 の接続部 1 0 5 b となる位置に開口を形成し、この上にさらに、レジスト層 8 2 を形成し、反射部 1 0 1 の縁 1 0 1 a の内側形状部分を残して除去し、レジストアイランドを形成する。レジスト層 8 2 の反射部支持部 1 0 5 の接続部 1 0 5 b となる位置に開口を形成した後、全面に A 1 膜 1 0 1 を成膜して、反射部 1 0 1 の形状にパターニングする（図 2 1 (f)）。最後に、アッシングにより犠牲層のレジスト層 8 1、1 4 1、8 2 を除去する。これにより、支持部 1 0 2 および支持部 1 0 3 が湾曲して立ち上がり、図 1 8 (a)、(b) のミラー 1 1 8 を製造することができる。

（第 7 の実施の形態）

つぎに、第 7 の実施の形態として、上述の第 1 ～第 6 の実施の形態の光スイッチを用いた光スイッチング装置 1 について図 2 2 を用いて説明する。

図 2 2 の光スイッチング装置は、第 1 の実施の形態の光スイッチを基板 1 1 上に縦横に配列した構成であり、基板 1 1 の下部には温度調整装置 2 2 2 としてヘルチエ素子が配置されている。基板 1 1 の一辺には、スイッチングすべき光を出射する光ファイバ 2 が並べて配置され、出射された光の光路上には、それぞれ光スイッチのミラー 1 2 が位置するように、位置合わせされている。また、基板 1 1 の一辺には、ミラー 1 2 で反射された光が入射する位置に光ファイバ 4 が並べて配置されている。また、光ファイバ 2 と、基板 1 1 を挟んで向かい合う位置には、光フ

ファイバから出射された光がミラー 1 2 を通過した場合に入射する位置に光ファイバ 3 が配置されている。

また、本実施の形態の光スイッチング装置 1 は、各光スイッチの電極 2 3 a と、基板 1 1 間に印加する電圧を制御する制御回路 6 とを有している。

よって、本実施の形態の光スイッチング装置 1 では、制御回路 6 が光スイッチの電極 2 3 a と基板 1 1 との間に電圧 V を印加した場合には、図 6 に示したように、可動板 2 1 が凹部 1 3 の底部に位置するため、ミラー 1 2 も凹部 1 3 内に引き込まれ、光ファイバ 2 から出射された光束はミラー 1 2 の上を通過して、光ファイバ 3 に入射し、光ファイバ 3 を伝搬する。一方、制御回路 6 が光スイッチの電極 2 3 a と基板 1 1 との間に電圧 V を印加していない場合には、可動板 2 1 は、基板 1 1 の上面位置に位置するため、ミラー 1 2 は基板 1 1 上に突出して光路中に挿入された状態となる。よって、光ファイバ 2 から出射された光束は、ミラー 1 2 で反射され、光ファイバ 4 に入射して光ファイバ 4 を伝搬する。

よって、光スイッチング装置 1 を構成する各光スイッチごとに、制御回路 6 が電圧 V を印加するかどうかを制御することにより、3 本の光ファイバ 2 から出射された光を、それぞれ独立にスイッチングして、光ファイバ 4 または光ファイバ 3 に入射させることができる。

また、図 2 2 では、第 1 の実施の形態のミラー 1 2 を用いた光スイッチにより、光スイッチング装置 1 を構成した例について説明したが、同様に第 2 ～第 6 の実施の形態の光スイッチにより、光スイッチング装置 1 を構成することができる。なお、第 2 ～第 4、第 6 の実施の形態の光スイッチを用いる場合、温度調節装置 2 2 2 を備えない構成にすることができる。

図 2 2 の光スイッチング装置 1 は、第 1 ～第 6 の実施の形態の光スイ

ッチを用いるため、ミラーの反射部 101 の反射率が高く、しかも、ミラーの反射部 101 の反射面を基板 11 の主平面に対して精度良く垂直に維持することができる。これにより、光スイッチング装置 1 は、高反射率で光を反射して、光ファイバ 2 または光ファイバ 4 の端面に精度良く入射させることができるため、光損失が少ない。

(第 8 の実施の形態)

つぎに、上述の第 1 ～第 6 の実施の形態のミラーを用いた別の構成の光スイッチについて説明する。

本実施の形態の光スイッチは、図 23 のように基板 230 上に可動板 231 を配置し、可動板 231 の上に、第 1 ～第 6 の実施の形態のいずれかのミラーを搭載した構成である。ここでは、第 2 の実施の形態のミラー 112 を搭載した例を図示している。可動板 231 は、第 1 ～第 6 の実施の形態の支持部 102 と同様に、窒化シリコン膜と A1 膜との 2 層膜で構成され、一方の端部に設けられた脚部 231a により基板 230 に接続されている。また、基板 230 には、図示していないが、内部に電極が形成され、表面は絶縁膜で覆われている。よって、可動板 231 の A1 膜と、基板 230 内部の電極との間に電圧を印加することにより、可動板 231 は静電力により基板 230 に引き寄せられ、図 25 (a) のように基板 230 に密着する。一方、可動板 231 の A1 膜と基板 230 の内部の電極との間に電圧を印加していない状態では、可動板 231 は、窒化シリコン膜と A1 膜の応力により図 25 (b) のように湾曲する。

また、本実施の形態の光スイッチは、図 24 のように、切り換えるべき光を伝搬する 4 本の光導波路 241、242、243、244 が設けられた光導波路基板 240 を有している。光導波路基板 240 は、中央部に幅数十 μm 程度の溝 246 が備えられ、溝 246 の側面に光導波路

2 4 1、2 4 2、2 4 3、2 4 4の端面2 4 1 a、2 4 2 a、2 4 3 b、2 4 4 bが露出されている。端面2 4 1 aと端面2 4 2 aとの間隔、ならびに、端面2 4 3 bと端面2 4 4 bとの間隔は、図2 5 (a)、(b)に示したようにミラー1 1 2の反射部1 0 1で覆うことのできる間隔に設計されている。

図2 5 (a)、(b)に示すように、可動板2 3 1の基板2 3 0上に、スペーサー2 5 1を介して、光導波路基板2 4 0を搭載することにより、光スイッチが構成される。このとき、溝2 4 6に、ミラー1 1 2の反射部1 0 1が挿入されるように、基板2 3 0と位置合わせして光導波路基板2 4 0を搭載する。

これにより、可動板2 3 1のA 1膜と基板2 3 0内部の電極との間に電圧を印加している状態では、図2 5 (a)のように可動板2 3 1が静電力により基板2 3 0に引き寄せられ、ミラー1 1 2の反射板1 0 1は、光導波路2 4 3、2 4 4の端面2 4 3 b、2 4 4 bより下側に位置する。よって、例えば、光導波路2 4 3の端面2 4 3 aから光を入射した場合、光導波路2 4 3を伝搬した光は、端面2 4 3 bから出射され、そのまま対向する光導波路2 4 2の端面2 4 2 aに入射し、光導波路2 4 2を伝搬して端面2 4 2 bから出射される。また、例えば、光導波路2 4 1の端面2 4 1 bから光を入射した場合、光導波路2 4 1を伝搬した光は、端面2 4 1 aから出射され、そのまま対向する光導波路2 4 4の端面2 4 4 bに入射し、光導波路2 4 4を伝搬して端面2 4 4 aから出射される。

一方、可動板2 3 1のA 1膜と基板2 3 0内部の電極との間に電圧を印加していない状態では、図2 5 (b)のように可動板2 3 1が、窒化シリコン膜とA 1膜の応力により湾曲し、ミラー1 1 2の反射板1 0 1は、光導波路2 4 3、2 4 4の端面2 4 3 b、2 4 4 bを覆うように位

置する。よって、例えば、光導波路 2 4 3 の端面 2 4 3 a から光を入射した場合、光導波路 2 4 3 を伝搬した光は、端面 2 4 3 b から出射され、ミラー 1 1 2 の反射部 1 0 1 で反射されて、光導波路 2 4 4 の端面 2 4 4 b に入射し、光導波路 2 4 4 を伝搬して端面 2 4 4 a から出射される。また、例えば、光導波路 2 4 1 の端面 2 4 1 b から光を入射した場合、光導波路 2 4 1 を伝搬した光は、端面 2 4 1 a から出射され、ミラー 1 1 2 の反射部 1 0 1 で反射され、光導波路 2 4 2 の端面 2 4 2 a に入射し、光導波路 2 4 2 を伝搬して端面 2 4 2 b から出射される。

また、図 2 5 (b) のように可動板 2 3 1 が上側に位置するときには、ミラー 1 1 2 のストップ部 9 1、9 2 が手前に張り出しているため、ストップ部 9 2 の上端 9 2 a が光導波路基板 2 4 0 の下面 2 4 0 a に接触し、ミラー 1 1 2 の反射部 1 0 1 が図 2 5 (b) の位置以上に溝 2 4 6 に入り込まないように阻止するストッパーの役目を果たす。これにより、ミラー 1 1 2 の反射部 1 0 1 の上端が、溝 2 4 6 の上面 2 4 6 a にぶつかることがないため、反射部 1 0 1 が変形する虞れがない。よって、反射部 1 0 1 の反射面を基板 2 3 0、2 4 0 の主平面に垂直に維持することができ、精度良く所望の方向に光を反射できる。

なお、本実施の形態の光スイッチの構成としては、ミラー 1 1 2 に代えて、第 1 の実施の形態のミラー 1 2 や、第 3 ～第 6 の実施の形態のミラー 1 1 3、1 1 6、1 1 7、1 1 8 を用いることができる。

上述してきたように、第 1 ～第 8 の実施の形態の光スイッチは、ミラーの反射部 1 0 1 として、薄膜を支持部 1 0 2 で垂直に持ち上げた構成であるため、反射部 1 0 1 の反射面として、薄膜の主平面を用いることができる。よって、反射面を容易に滑らかに形成できるため、高い反射率を得ることができる。また、支持部 1 0 2 を、2 層の薄膜を積層した構造としているため、反射部 1 0 1、支持部 1 0 2 をいずれも薄膜製造

プロセスにより製造することができ、製造が容易であるという利点も得られる。しかも、支持部 102 および反射部 101 を立ち上がらせるための犠牲層として、本実施の形態では感光性樹脂のレジスト膜を用いているため、無機の酸化膜や窒化膜を用いる場合と比較して、犠牲層の除去を特別な装置を用いることなく、アッシング工程により容易に行うことができる。このため、ミラーの製造をより容易に行うことができる。

また、上述の各実施の形態では、ミラーを搭載する可動板 21、231 の駆動を静電力により行っているが、可動板 21、231 の駆動方法は、静電力に限らず、他の手法により行うことが可能である。例えば、ローレンツ力を利用することができる。

また、上述の各実施の形態では、反射部 101 を Al 膜により形成しているが、Au 等他の材料を用いることももちろん可能である。また、支持部 102 の膜構成も、本実施の形態の Al 膜と窒化シリコン膜の構成に限られるものではなく、必要な湾曲状態が得られる構成であれば、他の材料の膜や、3 層以上の膜構成にすることができる。

(第 9 の実施の形態)

第 9 の実施の形態の光スイッチを図 26、図 36～図 40 等を用いて説明する。

本実施の形態の光スイッチは、図 40 (a)、(b) に示したように、第 6 の実施の形態の図 18 (a)、(b) のミラー 118 を可動板 231 上に搭載した第 8 の実施の形態と同様の光スイッチであるが、以下の 3 つの点で第 8 の実施の形態とは異なっている。第 1 に、可動板 231 は、静電力とローレンツ力とを用いて駆動されるように構成されている。第 2 に、可動板 231 には、図 39 に示したようにミラー 118 を搭載している部分を取り囲むように、凸部 364 が設けられている。このように凸部 364 を設けることにより、可動板 231 のミラー 118

を搭載している部分の湾曲を抑制し、平面を維持する。第3に、本実施の形態の光スイッチは、可動板231の上に、図26のように2つの薄膜立体構造体5を保持部として搭載し、ミラー118の反射部101の向きを一定に保つ構成となっている。

まず、可動板231の構成について説明する。上述した第8の実施の形態では、可動板231は、窒化シリコン膜とAl膜の2層構造であったが、本実施の形態では、可動板231は、図36(b)に示したように、窒化シリコン膜361とAl膜362と窒化シリコン膜363とを順に積層した3層膜からなる。可動板231は、窒化シリコン膜361、363とAl膜362との熱膨張係数の差によって生じる内部応力、ならびに、成膜時に生じた内部応力により、常温で基板230に対して上向きに湾曲するように、予め定められた膜厚および成膜条件によって形成されている。

可動板231は、図39に示したようにミラー118を搭載するための長方形のミラー搭載板231bと、ミラー搭載板231bの端部に接続された2本の帯状の支持板231cとを含む。支持板231cは、それぞれの端部に脚部231aおよび脚部231dを有している。脚部231aおよび231dは、いずれも基板230に固定されており、可動板231は、脚部231a、231dを固定端として、第8の実施の形態の光スイッチと同様に、図40(b)のようにミラー搭載板231b側が持ち上がり、ミラー118を光導波路基板240の溝246に挿入することができる。

本実施の形態では、図36(a)のように可動板231のミラー118を搭載している部分を取り囲むように、凸部364を設けている。凸部364は、図36(b)に示したように、可動板231を構成する3層膜を凸型にすることにより形成されている。この凸部364は、可動

板 2 3 1 の支持板 2 3 1 c の一部の領域にも設けられている。このように凸部 3 6 4 を設けることにより、可動板 2 3 1 の縁に段差が生じるため、可動板 2 3 1 のうち、凸部 3 6 4 で囲まれた領域および凸部が設けられた領域は、内部応力による湾曲が抑制され、平面性を維持することができる。このため、可動板 2 3 1 は、図 4 0 (b) のように内部応力による湾曲によりミラー 1 1 8 上側の位置に持ち上げた状態であっても、ミラー 1 1 8 を搭載している部分は平面であるため、搭載されているミラー 1 1 8 の形状を一定に保つことができる。これにより、ミラー 1 1 8 の反射部 1 0 1 の向きを精度良く一定に維持することができる。

また、凸部 3 6 4 の一部 3 6 4 a、3 6 4 b は、図 3 6 (a) に示したように、可動板 2 3 1 のうちミラー搭載板 2 3 1 b の中央部に向かって延びている。これにより、凸部 3 6 4 で囲まれたミラー搭載板 2 3 1 の中央部の面積が大きい場合であっても、中央部の領域の平面性を維持することができる。また、凸部 3 6 4 の一部 3 6 4 b は、後述する垂直構造体 5 の 1 段目を兼用する。

このように、可動板 2 3 1 は、凸部 3 6 4 が設けられている領域は湾曲が抑制されるが、支持板 2 3 1 c の脚部 2 3 1 d に近い領域は、凸部 3 6 4 が設けられていない。これにより、凸部 3 6 4 が設けられていない支持板 2 3 1 c の領域の湾曲によって、可動板 2 3 1 は、脚部 2 3 1 a、2 3 1 d を固定端として、図 4 0 (b) のように、ミラー搭載板 2 3 1 b 側が持ち上がり、ミラー 1 1 8 を光導波路基板 2 4 0 の溝 2 4 6 に挿入することができる。このように、ミラー搭載板 2 3 1 b のように平面性を維持したい部分のみに凸部 3 6 4 を設けることにより、湾曲を利用して可動板 2 3 1 を可動な構成にしながら、必要な部分を平面にすることができる。

つぎに、可動板 2 3 1 の A 1 膜 3 6 2 の形状について、図 3 7 を用い

て説明する。本実施の形態では図37に示したような形状に、A1膜362をパターンニングしている。ただし、図37は、可動板261を上面から見た場合のA1膜362の形状を示しており、見やすくするためにA1膜362の部分にハッチングを付している。

A1膜362のうちパターン362aは、2つの脚部231dのうちの一方から、可動板231の外周の縁に沿って延びて可動板231の先端まで到達した後、反対側の可動板231の縁に沿って他方の脚部231dに達するパターンである。このパターン362aは、ローレンツ力により可動板231を駆動する際に、ローレンツ力を生じさせるための電流を流す配線として用いられる。パターン362aは、脚部231dにおいて基板230に設けられた配線と接続され、脚部231dを介して基板230から電流を供給される。パターン362aのうち、可動板231の先端の一辺231eに沿った直線の部分を流れる電流が、ローレンツ力を生じさせるために用いられる。また、図示していないが、本実施の形態の光スイッチには、永久磁石または電磁石等の磁界発生手段が取り付けられている。磁界発生手段の磁界の方向は、可動板231の先端の一辺231eと直交する方向であって基板230の主平面と平行な方向であり、磁界の向きは、パターン362aに供給する電流の向きとの関係により、可動板231を基板230に近づける向き（下向き）のローレンツ力を生じるように定められる。

また、A1膜362のうちパターン362bは、2つの脚部231aのそれぞれから、可動板231の内側の縁に沿って可動板231の先端部まで延び、先端部に配置された長形状のパターン362dに接続されている。パターン362bは、脚部231aにおいて基板230に設けられた配線と接続され、基板230内に設けられた電極との間に電圧が印加される。これにより、パターン362bおよび362dと、基板

230内に設けられた電極との間には静電力が生じ、この静電力により可動板231は、基板230に引き寄せられる。

本実施の形態において、可動板231を駆動する場合には、図38のような波形のローレンツ力用電流を、脚部231dを介してA1膜362のパターン362aに供給するとともに、図38のような波形の静電力用電圧を、脚部231aを介して、A1膜362のパターン362b、362dに供給する。具体的には、可動板231を上側に位置する状態（図40（b）の状態）から下側に位置する状態（図40（a）の状態）に引き下げる場合には、まず、ローレンツ力用電流を時間T1から供給する。これにより、可動板231は、先端のパターン362aを流れる電流と磁界発生手段の磁界とにより生じるローレンツ力により、下向きの力を受け、基板230側に徐々に接近し、時間T2において、基板230に接した状態（図40（a）の状態）となる。このように、可動板231が基板230に接した状態の時間T3において、今度は静電力用電圧をA1膜362のパターン362b、362dに供給する。これにより、パターン362b、362dと、基板230内の電極との間の静電力により、可動板231が基板230に接した状態（図40（a）の状態）に保持される。静電力が作用する状態になったならば、ローレンツ力用電流は不要であるので、時間T4においてローレンツ力用電流をオフにする。また、可動板231を再び上側に位置する状態に変化させる場合には、時間T5において静電力用電圧をオフにする。これにより、可動板231は、膜の内部応力により瞬時に持ち上がり図40（b）の状態に変化する。

このように、ローレンツ力と静電力とを組み合わせることにより、上側に位置する可動板231を基板230に接するように引きつけるまではローレンツ力を利用し、引きつけた状態を維持するためには静電力を

用いることができる。これにより、静電力のみで可動板 2 3 1 を基板 2 3 0 まで引きつける場合と比較して、消費電力を小さくすることができ、小さな消費電力で駆動可能な光スイッチを提供できる。

また、ローレンツ力で可動板 2 3 1 を駆動している状態においては、ローレンツ力用電流を調節することにより、可動板 2 3 1 の位置を所望の高さで停止させることができる。これを利用して、本実施の形態の構成では、ミラー 1 1 8 の反射部 1 0 1 を光路の途中で停止させることができる。例えば、光束の半分や 1 / 3 等所望の光量を遮る高さで停止させることができる。これにより、本実施の形態の光スイッチを所望の光量のみを通過させる、光量減衰器（アッテネータ）として用いることが可能である。この場合、ミラー 1 1 8 の反射部 1 0 1 に代えて、光り反射率の低い膜を遮光部として搭載することが可能である。

また、上述のように、可動板 2 3 1 は、ミラー 1 1 8 が搭載される部分を取り囲むように凸部 3 6 4 を形成することにより、可動板 2 3 1 の平面性を維持する構成であるため、可動板 2 3 1 のうちミラー 1 1 8 の反射部 1 0 1 が搭載されている部分、可動板 2 3 1 を引き下げた図 4 0 (b) の状態では、基板 2 3 0 に接する高さとなる。よって、搭載されているミラー 1 1 8 の反射部 1 0 1 を基板 2 3 0 になるべく近い低い位置に支持できる。これにより、光導波路基板 2 4 0 と基板 2 3 0 との間隔が狭くても、反射部 1 0 1 を光導波路基板 2 4 0 の溝 2 4 6 から取り出すことができるため、消光比の大きな薄型の光スイッチを得ることができる。

また、本実施の形態では、図 2 6 のように、可動板 2 3 1 上に 2 つの薄膜立体構造体 5 をミラー 1 1 8 の保持部として搭載している。薄膜立体構造体 5 は、ミラー 1 1 8 の反射部支持部 1 0 5 の両脇を図 2 6 中の x 方向から押して支える位置に配置されている。これにより、支持部 1

02, 103の湾曲により支持されている反射部支持部105のx方向の位置を一定に保つことができるため、温度変化により支持部102、103の湾曲状態が変化しても、反射部101の位置および向きを一定に維持することができる。

薄膜立体構造体5の構造について、図27(a)、(b)、(c)を用いて説明する。薄膜立体構造体5は、4段の単位構造部材511~514を積み重ねた構造である。1段目の単位構造部材511は、可動板231の凸部364の一部364bと兼用されており、可動板231と一体に構成されている。単位構造部材512、513は、図27(c)のように、複数の支持部51と、平面部52とを有している。平面部52は、両端が支持部51によって支えられている。2段目の単位構造部材512は、1段目の単位構造部材511上に配置された3つの支持部51と、3つの支持部51の間に支持された2つの平面部52とを有する。3段目の単位構造部材513は、2段目の構造部材の2つの平面部52の上にそれぞれ配置された2つの支持部51と、その間に支持された1つの平面部52とを有する。最上段の4段目の単位構造部材514は、3段目の単位構造部材513の1つの平面部52上に配置された1つの支持部51を有し、平面部52は有していない。最上段の単位構造部材514は、最下段の単位構造部材511の幅よりも突出する突起部71が備えられている。この突起部71が、図26のように反射部支持部105と接してx方向に押し、反射部支持部105を支持している。

単位構造部材512、513は、それぞれ連続した一つの膜によって、支持部51と平面部52とが一体に形成されている。また、単位構造部材514は、連続した一つの膜によって支持部と突起部71とが一体に形成されている。支持部51は、4つの側面と底面とを有し、これらが連続した膜により形成されている。本実施の形態では、2段目から4

段目の単位構造部材 5 1 2 ~ 5 1 4 を構成する膜の厚さは、 $1\ \mu\text{m}$ 以下、例えば $0.2\ \mu\text{m}$ 程度である。また、単位構造部材 5 1 1 ~ 5 1 4 の高さは、それぞれ $4\ \mu\text{m}$ である。よって、薄膜立体構造体 5 の全体の高さは、 $16\ \mu\text{m}$ である。

2 段目から 4 段目の単位構造部材 5 1 2 ~ 5 1 4 が互いに接する部分、すなわち支持部 5 1 の底面と、それを搭載する平面部 5 2 との間には、特別な接着層は配置されていないが、成膜時に膜同士が固着する力により、固定されている。また、2 段目の単位構造部材 5 1 2 の支持部 5 1 の底面は、成膜時に、1 段目の単位構造部材 5 1 1 を構成する薄膜の可動板 2 3 1 に固着し、これにより単位構造部材 5 1 1 に固定されている。

2 段目および 3 段目の単位構造部材 5 1 2 ~ 5 1 3 において、複数の支持部 5 1 の間隔は、平面部 5 2 がそれ自身の膜応力やその上段の支持部 5 1 から受ける重さによって撓みを生じない程度の間隔あって、かつ、支持部 5 1 を配置可能な面積の平面部 5 2 が確保できる間隔となるように定められている。

また、2 段目から 4 段目の単位構造部材 5 1 2 ~ 5 1 4 は、膜の周縁部を 2 回屈曲させることによって形成した段差（折り返し）5 3 を有している。これにより、 $0.2\ \mu\text{m}$ 程度という薄い膜で構成されているにも関わらず変形しにくく、薄膜立体構造体 5 の剛性を高めている。また、単位構造部材 5 1 2 ~ 5 1 4 を構成する膜に内部応力が存在している場合であっても、変形が生じるのを段差 5 3 によって防止することができ、構造を保持できる。

このように薄膜立体構造体 5 は、薄膜で形成されているため、重量が軽く、薄膜（SiN 膜）で形成された支持部 5 1 であっても平面部 5 2 を十分に支持することが可能である。よって、 $16\ \mu\text{m}$ という高さの高

い立体構造を、薄膜のみで十分に維持することができる。しかも、上段へ行くほど、支持部の数が減る（２段目：支持部５１が３つ→３段目：支持部５１が２つ→４段目（最上段）：支持部５１が１つ）というピラミッド構造をとっているため、上段に行くほど軽くなり、支持部５１の負担を軽減している。

このように、本実施の形態の薄膜立体構造体５は、高さがあり、剛性があり、しかも、自重が軽い立体構造体を提供できる。したがって、この薄膜立体構造体５を可動板２３１に搭載してミラー１１８の保持部として用いることにより、可動板２３１に負担を与えることなく、振動等に対してミラー１１８の位置を維持することができる。

単位構造部材５１１～５１４は、可動板２３１およびミラー１１８の構成部材とは、全く別の工程で形成することももちろん可能である。しかしながら、単位構造部材５１１を可動板２３１の一部とするのと同様に、可動板２３１やミラー１１８を構成する部材の成膜時に単位構造部材５１２～５１４を同時に形成することにより、製造工程を大幅に簡略化することができる。本実施の形態では、２段目の単位構造部材５１２は、支持部１０３および支持部１０２を構成する膜を成膜する際に同時に形成した３層膜によって構成する。３段目の単位構造部材５１３は、反射部１０１を構成する膜を成膜する際に同時に形成された薄膜によって構成する。単位構造部材５１４は、ミラー１１８とは別に、窒化シリコン膜により形成する。

本実施の形態のミラー１１８の製造工程を図２９（ａ）～（ｃ）、図３０（ｄ）～（ｆ）を用いて説明する。支持部１０２、１０３、接続部１０４、反射部支持部１０５、反射部１０１、および、薄膜立体構造体５は、図２８のような配置および形状にパターンニングされる。なお、図２９（ａ）～（ｃ）、図３０（ｄ）～（ｆ）は、図２８のＫ－Ｋ断面に

において製造工程を示している。

まず、図29(a)のように、可動板231を駆動するために必要な配線（不図示）が形成された基板230上に、犠牲層となるレジスト層2001を形成し、脚部231a、231dとなる部分に開口（不図示）を設ける。また、レジスト層2001の上に、可動板231の凸部364を設ける部分にレジストアイランド2002を形成する。この上に、窒化シリコン膜361を成膜し、脚部231a、231dの開口の底部の窒化シリコン膜に孔を形成する。この上にAl膜362を成膜し、図37のパターン362a～362dの形状にパターニングする。さらに、窒化シリコン膜363を成膜した後、窒化シリコン膜361、363を可動板231の形状にパターニングする。これにより、凸部364の一部を1段目の単位構造部材511とする可動板231が形成できる。なお、Al膜362および窒化シリコン膜361、363のパターニングは、フォトリソグラフィおよびエッチングの手法により行う。

つぎに、全体にレジスト層81を形成し、支持部102の脚部102cを形成すべき位置、および、薄膜立体構造体5の単位構造部材512の支持部51を形成すべき位置に、開口81aおよび開口81bをそれぞれフォトリソグラフィーにより形成する（図29(a)）。

つぎに、接続部104ならびに反射部支持部105を形成すべき位置、および、薄膜立体構造体5の単位構造部材512を形成すべき位置に、それぞれ、レジストアイランド201およびレジストアイランド2201を形成する（図29(b)）。このようにレジストアイランド201および2201を形成することにより、接続部104、反射部支持部105、および、単位構造部材512の縁に段差を形成することができ、これらの剛性を高めることができる。

つぎに、支持部103を構成するAl膜103aを成膜し、フォトリ

ソグラフィとエッチングの手法により、図 28 の支持部 103 の形状、および、単位構造部材 512 の形状にパターンニングする（図 29（c））。

つぎに、窒化シリコン膜と Al 膜 102b とを順に成膜する（図 30（d））。成膜した Al 膜 102b を図 19 の支持部 102 の形状、および、単位構造部材 512 の形状にパターンニングする。その後、窒化シリコン膜を、支持部 102、接続部 104、支持部 103、反射部支持部 105、および、単位構造部材 512 の形状にパターンニングする（図 30（e））。これにより、支持部 103 の窒化シリコン膜 103b と、接続部 104 と、反射部支持部 105 とが一度に形成される。また、図 29（c）と図 30（d）の工程により、Al 膜、窒化シリコン膜、Al 膜を順に積層した 3 層構造の単位構造部材 512 を形成することができる。

全面にレジスト層 141 を形成し、反射部支持部 105 の接続部 105b となる位置、および、薄膜立体構造体 5 の単位構造部材 513 の支持部となる位置に、それぞれ開口を形成する。この上にさらに、レジスト層 82 を形成し、反射部 101 の縁 101a の内側形状部分、および、単位構造部材 513 の形状部分を残して除去し、レジストアイランドを形成する。さらに、レジスト層 82 の反射部支持部 105 の接続部 105b となる位置、および、単位構造部材 513 の支持部 51 となる位置に開口を形成した後、全面に Al 膜 101 を成膜して、反射部 101 の形状、および、単位構造部材 513 の形状にパターンニングする（図 30（f））。これにより、反射部 101、および、3 段目の単位構造部材 513 を形成することができる。これが、図 28 の状態である。

さらに、全面にレジスト層（不図示）を形成した後、4 段目の単位構造部材 514 の支持部 51 を形成すべき位置に開口を形成し、この上に

、単位構造部材 5 1 4 の形状にレジストアイランドを形成する。全面に窒化シリコン膜を形成、単位構造部材 5 1 4 の形状にパターンニングする。これにより、4 段目の単位構造部材 5 1 4 が形成できる。

最後に、アッシングにより、すべての犠牲層のレジスト層 8 1、1 4 1、8 2 等を除去する。これにより、支持部 1 0 2 および支持部 1 0 3 が湾曲して立ち上がり、図 1 8 (a)、(b) のミラー 1 1 8 の反射部 1 0 1 を支持するとともに、反射部支持部 1 0 5 が薄膜立体構造体 5 に接触し、反射部 1 0 1 が基板 2 3 0 に対してほぼ垂直に位置決めされる。また、可動板 2 3 1 も脚部 2 3 1 a、2 3 1 d を支持部として、基板 2 3 0 から立ち上がり、図 3 8 のローレンツ力用電流および静電力用電圧を A 1 膜 3 6 2 のパターン 3 6 2 a、3 6 2 b、3 6 2 d に与えることにより、ローレンツ力および静電力によりミラー 1 1 8 を上下動することが可能になる。

このように、第 9 の実施の形態では、可動板 2 3 1 上に薄膜立体構造体 5 を保持部として搭載することにより、ミラー 1 1 8 の反射部 1 0 1 の向きを一定に維持することができる。また、可動板 2 3 1 に凸部 3 6 4 を設けミラー 1 1 8 を搭載している部分の平面性を維持しているため、ミラー 1 1 8 の反射部 1 0 1 の向きを一定に保持することができる。また、可動板 2 3 1 を、ローレンツ力と静電力とを組み合わせで駆動する構成であるため、低消費電力で駆動可能な光スイッチを提供できる。

また、ローレンツ力を用いることにより、可動板 2 3 1 を所望の高さで停止させることができるため、第 9 の実施の形態の光スイッチの反射部 1 0 1 を光束の途中の所望の光量を遮る位置に停止させ、光量減衰器（アッテネータ）として用いることが可能である。

また、第 9 の実施の形態では、可動板 2 3 1 上に搭載するミラーとして、図 1 8 (a)、(b) のミラー 1 1 8 を用いているが、ミラー 1 1

8に限らず、上述の第1～第6の実施の形態のいずれかのミラーを搭載し、保持部として薄膜立体構造体5を搭載することが可能である。例えば、第2、第3の実施の形態のミラー112、113のストップ部91、92、93、94の代わりに、薄膜立体構造体5を保持部として搭載することができる。

なお、上記薄膜立体構造体5は、4段としているが、必要な高さが得られるように所望の段数にすることができる。また、上記実施の形態では、最下段の単位構造部材511を可動板231と一体に形成しているが、可動板231上に別の薄膜で単位構造部材511を形成することも可能である。この場合、支持部51を5つとして、単位構造部材512と同様の形状にする。

また、薄膜立体構造体5は、上記図27(a)、(b)、(c)の形状に限定されるものではない。例えば、図31～図33の形状のものを用いることができる。

図31の薄膜立体構造体3002は、上面形状は、図27(a)とほぼ同様であるため、図示を省略している。ただし、最下段の単位構造部材511を可動板231とは別体としている。薄膜立体構造体3002は、単位構造部材511～514が、周縁部に段差を備えていない点と、単位構造部材511～514が、すべて3層膜によって構成されている点である。これら以外の構成は、第9の実施の形態と同様である。

単位構造部材511～514を構成する3層膜は、基板側から順に膜310、膜320、膜330が積層された構成である。このようにすべての単位構造部材511～514を3層膜にしているのは、各膜310、320、330の内部応力を互いに打ち消し合わせ、残留応力がほとんどない3層膜により単位構造部材511～514を構成するためである。内部応力を打ち消し合わせるために、最下層の膜310と最上層の

膜 3 2 0 が同じ材質で構成され、同程度の膜厚であることが望ましい。例えば膜 3 1 0 と膜 3 3 0 を同じ膜厚の SiN 膜とし、これらに挟まれた膜 3 2 0 を Al 膜とすることができる。

このように、図 3 1 の薄膜立体構造体 3 0 0 2 は、単位構造部材 5 1 1 ~ 5 1 4 を、内部応力を打ち消し合った 3 層膜により構成しているため、図 2 7 の薄膜立体構造体 5 のように段差 5 3 を形成しなくても、剛性を保つことが可能である。

つぎに、図 3 2 の薄膜立体構造体 3 0 0 3 について説明する。薄膜立体構造体 3 0 0 3 は、単位構造部材 4 1、4 2 を有している。1 段目の単位構造部材 4 1 は、円形の平面部 4 4 と、平面部 4 4 を支持する 3 本の支持部 4 3 とを有する。3 本の支持部 4 3 は、円形の平面部 4 4 の中心を中心として 120° おきに、すなわち正三角形の頂点の位置に配置されている。このように、薄膜立体構造体 3 0 0 3 の支持部 4 3 は、薄膜立体構造体 5 のように支持部 5 1 が一直線上に並んでおらず、支持部 4 3 が立体的に配置されている。

2 段目の単位構造部材 4 2 は、1 段目の単位構造部材 4 1 と同じ大きさおよび形状である。2 段目の単位構造部材 4 2 の支持部 4 3 は、1 段目の単位構造部材 4 1 の平面部 4 4 によって支持されるように、1 段目の単位構造部材 4 1 の支持部 4 3 から 60° ずつずれた角度に配置されている。

なお、図 3 2 の薄膜立体構造体 3 0 0 3 も、薄膜立体構造体 5 と同様に、SiN 等の薄膜によって、支持部 4 3 と平面部 4 4 とが一体に形成されている。また、薄膜の周縁部には、段差（折り返し）5 3 が設けられ、単位構造部材 4 1、4 2 の変形を防ぎ、薄膜立体構造体 3 0 0 3 の剛性を保っている。

図 3 2 の薄膜立体構造体 3 0 0 3 は、薄膜立体構造体 5 と同様の製造

手順により、製造することができる。

また、図 3 2 では、単位構造部材 4 1、4 2 が 2 段重ねられた薄膜立体構造体 3 0 0 3 を示しているが、同様に単位構造部材を 3 段以上積層することも可能である。

つぎに、図 3 3 に示した薄膜立体構造体 3 0 0 4 について説明する。薄膜立体構造体 3 0 0 4 は、薄膜立体構造体 5 の変形例である。薄膜立体構造体 3 0 0 4 は、4 段の単位構成部材 6 1、6 2 の全てにおいて、支持部 5 1 の数が一つである。支持部 5 1 の内部にはレジスト 6 5 が充填されている。支持部 5 1 の上部には、レジスト 6 5 の蓋の役目をすると共に、上段の支持部 5 1 を支える平面部 6 6 がかぶせられている。

支持部 5 1 の形状は、薄膜立体構造体 5 の支持部 5 1 と同様であり、4 つの側面と底面とが一つの膜により一体に形成されている。支持部 5 1 を構成する膜の周縁部には、段差（折り返し）5 3 が形成されている。平面部 6 6 を構成する膜の周縁部にも段差（折り返し）5 3 が形成されている。支持部 5 1 の段差 5 3 と、平面部 6 6 の段差 5 3 を構成する膜は、成膜時に生じる固着力により、密着している。

図 3 3 の薄膜立体構造体 3 0 0 4 は、すべての段において支持部 5 1 の数が 1 つであり、単位構造部材 6 1 ～ 6 4 が上方に直線状に積まれているため、狭い面積に高さの高い立体構造を形成することが可能である。また、支持部 5 1 の内側にはレジスト 6 5 が充填されているため、支持部 5 1 の内側が中空の場合と比較して支持強度が増している。これにより、図 3 3 のような直線状に積まれた構造であっても、強度を得ることができる。

なお、支持部 5 1 の内側に充填されているレジストは、犠牲層の一部であるため、レジスト 6 5 の充填のために、製造工程を増加させる必要はない。

なお、図 3 3 の薄膜立体構造体 3 0 0 4 の構成において、支持部 5 1 の内部が充填されていない構成にすることも可能である。この構成は、支持部 5 1 の一部に開口を設け、内部のレジストを犠牲層とともに除去することにより実現できる。

(第 1 0 の実施の形態)

第 1 0 の実施の形態の光スイッチを図 3 4 (a)、(b) および図 4 1 (a)、(b) を用いて説明する。

本実施の形態の光スイッチは、第 9 の実施の形態の光スイッチとほとんど同様の構成であるが、図 3 4 (b) および図 4 1 (a) に示したように、ミラー 1 1 8 の反射部 1 0 1 を可動板 2 3 1 に対して傾斜させている点が、第 9 の実施の形態とは異なる。反射部 1 0 1 を傾斜させている他は、ミラー 1 1 8 の構造は、図 3 4 (a) のように、図 1 8 (a) と同じである。

反射部 1 0 1 を可動板 2 3 1 に対して傾斜させているのは、つぎのような理由による。第 9 の実施の形態の光スイッチは、図 4 0 (a) のように、可動板 2 3 1 が基板 2 3 0 と平行な状態で、ミラー 1 1 8 の反射部 1 0 1 の上端の辺が光導波路基板 2 4 0 の主平面と平行になる形状である。このため、可動板 2 3 1 が持ち上がり、図 4 0 (b) のように反射部 1 0 1 が光導波路基板 2 4 0 の溝 2 4 6 に挿入された状態では、反射部 1 0 1 の上端の辺が光導波路基板 2 4 0 に対して傾斜する。そこで、本実施の形態では、反射部 1 0 1 が光導波路基板 2 4 0 の溝 2 4 6 に挿入された図 4 1 (b) の状態で、反射部 1 0 1 の上端の辺 1 0 1 b が光導波路基板 2 4 0 に対して平行となるように、予め傾斜させた形状に反射部 1 0 1 を形成する。これにより、図 4 1 (b) のように可動部 2 3 1 を持ち上げたときに、溝 2 4 6 に挿入される反射部 1 0 1 の面積を増加させることができるため、小さな反射部 1 0 1 であっても、効率よ

く光導波路 2 4 3、2 4 4 の端面を覆うことができる。また、溝 2 4 6 の深さを浅くすることが可能であるため、薄型の光スイッチを提供できる。

なお、図 3 4 (b) のように反射部 1 0 1 を傾斜させたミラー 1 1 8 を製造する工程は、第 9 の実施の形態で説明した工程とほとんど同じであるが、反射部 1 0 1 をパターンニングする際に、図 3 5 のように、傾斜したパターンにパターンニングする。これにより、図 3 4 (b) のように反射部 1 0 1 を傾斜させたミラー 1 1 8 を製造できる。

(第 1 1 の実施の形態)

つぎに、第 1 1 の実施の形態の光スイッチを図 4 2、図 4 3 等を用いて説明する。

第 1 1 の実施の形態の光スイッチは、第 9 の実施の形態の光スイッチにおいて、図 4 2 に示すように、薄膜立体構造体 5 の突起部 7 1 が接触する反射部支持部 1 0 5 の部分に、凹溝構造部 1 0 5 c を設けたものである。凹溝構造部 1 0 5 c 以外の光スイッチの構成は、第 9 の実施の形態と同じであるので説明を省略する。

図 4 3 (a) は第 1 1 の実施の形態における薄膜立体構造体 5 の突起部 7 1 と反射部支持部 1 0 5 との接触部分の関係を示しており、図 4 3 (b) は、第 9 の実施の形態における薄膜立体構造体 5 の突起部 7 1 と反射部支持部 1 0 5 との接触部分の関係を示している。図示するように、第 1 1 の実施の形態では、薄膜立体構造体 5 の突起部 7 1 が反射部支持部 1 0 5 の凹溝構造部 1 0 5 c に接触し、凹溝構造部 1 0 5 c の凹部で保持される。このため、反射部支持部 1 0 5 が薄膜立体構造体 5 の突起部 7 1 に対して上下にすべるのを防止でき、第 9 の実施の形態に対してより精度よく反射部 1 0 1 の角度を一定に保持することができるという利点がある。

本実施形態のミラー 118 の製造手順は、第 9 の実施の形態のミラー 118 の製造手順に対して次の点が異なる。すなわち、接続部 104 ならびに反射部支持部 105 を形成すべき位置、および、薄膜立体構造体 5 の単位構造部材 512 を形成すべき位置に、それぞれ、レジストアイランド 201 およびレジストアイランド 2201 を形成した後（図 29（b））、反射部支持部 105 と突起部 71 との接触点を含む領域に、EB 露光等の露光技術により凹溝構造部 105c を設けるための犠牲層をレジストで形成する。その後は第 9 の実施の形態と同様である。なお、この犠牲層の断面形状は、突起部 71 が凹溝構造部 105c に接触した場合に上下にズレるのを防止できるような形状であれば、三角形状、四角形状、半円形状等の任意の形状でよい。この新たな犠牲層により、図 44 の点線で囲んだ領域 105a に、図 42 に示すような凹溝構造部 105c が形成される。

なお、第 11 の実施の形態では、第 9 の実施の形態の光スイッチにおいて、薄膜立体構造体 5 の突起部 71 が接触する反射部支持部 105 の部分に、凹溝構造部 105c を設けたものについて説明した。しかし、凹溝構造部 105c と接触する保持部は、薄膜立体構造体 5 に限定されない。例えば、第 2 の実施の形態の光スイッチにおいて、ストップ部 91、92 の先端部が接触する反射部 101 の部分に、凹溝構造部 105c を設けてもよい。

上述の各実施の形態において、図 1（a）、（b）のミラー 12、図 10（a）、（b）のミラー 112、図 12 のミラー 113、図 15（a）のミラー 116、図 16 のミラー 117、図 18 のミラー 118 は、反射部 101 を搭載しているが、反射部 101 に代えて光の反射率の低い遮光膜や、偏光特性を有する偏光膜や、光波長フィルタ特性を有する光学薄膜を搭載することも可能である。これらを、例えば第 1、第 8

または第 9 の実施の形態の可動板 2 1、2 3 1 に搭載することにより、光量減衰器や、偏光器、波長選択器等の光学素子を構成することができる。

以上説明したように、本発明によれば、光束を所望の方向へ反射可能な光反射部を備えた光学素子を提供することができる。

請求の範囲

1. 基板と、光反射部と、前記光反射部を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記光反射部および支持部は、それぞれ、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が前記光反射部を構成する膜と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光学素子。

2. 請求項1に記載の光学素子において、前記支持部は、前記光反射部を構成する膜の主平面を前記基板の主平面に対して垂直に支持していることを特徴とする光学素子。

3. 請求項1または2に記載の光学素子において、前記支持部は、熱膨張係数の異なる2以上の膜を積層した構成であることを特徴とする光学素子。

4. 請求項1、2または3に記載の光学素子において、前記光反射部を構成する膜の主平面と前記基板の主平面との角度を一定に維持する保持部を有することを特徴とする光学素子。

5. 請求項4に記載の光学素子において、前記保持部は、前記光反射部と前記基板との間に挿入された角度保持部であり、

前記角度保持部は、一方の端部が前記基板に固定され、前記一方の端部から他方の端部に向かって湾曲した膜を含むことを特徴とする光学素子。

6. 請求項5に記載の光学素子において、前記角度保持部は前記光反射部もしくは前記支持部のいずれかと接触し、前記光反射部もしくは前記支持部の前記接触部分に、前記角度保持部と前記反射部もしくは前記支持部との相対的な位置のズレを防止する位置ズレ防止手段を有することを特徴とする光学素子。

7. 請求項6に記載の光学素子において、前記位置ズレ防止手段が前記光反射部もしくは前記支持部に形成された凹溝構造であることを特徴とする光学素子。

8. 請求項5に記載の光学素子において、前記角度保持部の前記膜の膜面は、前記光反射部の主平面に対して垂直であり、前記角度保持部の前記膜の側面が前記光反射部と接していることを特徴とする光学素子。

9. 請求項5から8のいずれか1項に記載の光学素子において、前記角度保持部は、前記光反射部の主平面の両側に少なくとも1以上つつ配置されていることを特徴とする光学素子。

10. 請求項5に記載の光学素子において、前記角度保持部の前記膜の湾曲の向きは、前記支持部を構成する膜の湾曲の向きと逆向きであり、

前記角度保持部の前記膜の前記他方の端部には、第2の光反射部が接続され、該第2の光反射部は、前記光反射部と重なっていることを特徴

とする光学素子。

1 1 . 請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の光学素子において、前記光反射部は、前記支持部の前記湾曲した膜の前記他方の端部から前記基板に向けてつり下げられていることを特徴とする光学素子。

1 2 . 請求項 4 に記載の光学素子において、前記保持部が前記光反射部を構成する部材の一部と接する薄膜立体構造体であり、該薄膜立体構造体は、前記基板上に順に積み重ねられた複数の単位構造部材を有し、前記単位構造部材は、支持部と、該支持部によって支持された平面部とを含み、前記支持部および平面部は、連続した薄膜より一体に構成され、積み重ねられた前記単位構造部材は、互いが接触する部分において、前記薄膜同士が固着していることを特徴とする光学素子。

1 3 . 請求項 1 2 に記載の光学素子において、前記薄膜立体構造体は前記光反射部もしくは前記支持部のいずれかと接触し、前記光反射部もしくは前記支持部の前記接触部分に、前記薄膜立体構造体と前記光反射部もしくは前記支持部との相対的なズレを防止する位置ズレ防止手段を有することを特徴とする光学素子。

1 4 . 請求項 1 3 に記載の光学素子において、前記位置ズレ防止手段が前記光反射部もしくは前記支持部に形成された凹溝構造であることを特徴とする光学素子。

1 5 . 基板と、光反射部と、前記光反射部を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記光反射部および支持部は、それぞれ、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、連結された2以上の部材からなり、該部材のうち第1の部材は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記光反射部を構成する膜と接続され、前記第1の部材は、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光学素子。

16. 請求項15に記載の光学素子において、前記支持部は、前記第1の部材と前記光反射部を構成する膜とを連結するための第2の部材を含み、該第2の部材は湾曲した膜であり、該第2の部材の湾曲の向きは、前記第1の部材の湾曲の向きとは逆向きであることを特徴とする光学素子。

17. 請求項1から16のいずれか1項に記載の光学素子において、前記光反射部を構成する膜は、周縁部に段差が形成されていることを特徴とする光学素子。

18. 請求項1から17のいずれか1項に記載の光学素子において、前記支持部の温度を調節するための温度調節部をさらに有することを特徴とする光学素子。

19. 請求項1から18のいずれか1項に記載の光学素子において、前記光反射部は、該光反射部を構成する膜の成膜時に前記基板側であった面を光反射面として用いることを特徴とする光学素子。

20. 基板と、平面板と、前記平面板を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記支持部は、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が前記平面板と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記平面板の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする薄膜構造体。

21. 基板と、平面板と、前記平面板を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記支持部は、連結された2以上の部材からなり、該部材のうち第1の部材は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記平面板と接続され、前記第1の部材は、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記平面板の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする薄膜構造体。

22. ミラー部と、前記ミラー部を搭載した可動部とを有し、

前記ミラー部は、光反射部と、前記光反射部を前記可動部上に支持する支持部とを有し、

前記光反射部および支持部は、それぞれ、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記可動部に固定され、他方の端部が前記光反射部を構成する膜と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面

を、前記可動部の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光スイッチ。

23. ミラー部と、前記ミラー部を搭載した可動部とを有し、

前記ミラー部は、光反射部と、前記光反射部を前記可動部上に支持する支持部とを有し、

前記光反射部は、膜によって構成され、

前記支持部は、連結された2以上の部材からなり、該部材のうち第1の部材は、一方の端部が前記可動部に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記光反射部を構成する膜と接続され、前記第1の部材は、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面を、前記可動部の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光スイッチ。

24. 基板上に、開口を有する犠牲層を形成する工程と、

前記犠牲層上の前記開口にかかる位置に予め定めた形状の支持膜を形成するとともに、前記犠牲層上の前記支持膜の一方の端部に接続される位置に光反射膜を形成する工程と、

前記犠牲層を除去することにより、前記支持膜の内部応力により前記支持膜を湾曲させて、前記光反射膜の主平面を前記基板の主平面に対して非平行に支持させることを特徴とする光学素子の製造方法。

25. 請求項24に記載の光学素子の製造方法において、前記犠牲層をレジストにより形成することを特徴とする光学素子の製造方法。

26. 請求項24または25に記載の光学素子の製造方法において、前

記支持膜を熱膨張係数の異なる材料からなる２以上の層の積層体により形成することを特徴とする光学素子の製造方法。

２７．光反射部材を含むミラー部、該ミラー部を搭載した可動部と、前記光反射部材の角度を維持するために前記ミラー部を構成する部材の一部と接する保持部とを有し、

前記保持部は、薄膜立体構造体であり、

該薄膜立体構造体は、前記可動部上に順に積み重ねられた複数の単位構造部材を有し、

前記単位構造部材は、支持部と、該支持部によって支持された平面部とを含み、前記支持部および平面部は、連続した薄膜により一体に構成され、

積み重ねられた前記単位構造部材は、互いが接触する部分において、前記薄膜同士が固着していることを特徴とする光スイッチ。

２８．請求項２７に記載の光スイッチにおいて、前記薄膜立体構造体は前記光反射部もしくは前記支持部のいずれかと接触し、前記光反射部もしくは前記支持部の前記接触部分に、前記薄膜立体構造体と前記光反射部もしくは前記支持部との相対的なズレを防止する位置ズレ防止手段を有することを特徴とする光スイッチ。

２９．請求項２８に記載の光スイッチにおいて、前記位置ズレ防止手段が前記光反射部もしくは前記支持部に形成された凹溝構造であることを特徴とする光スイッチ。

３０．請求項２７に記載の光スイッチにおいて、前記ミラー部は、前記

光反射部材を前記可動部上に支持するために支持部とを有し、

前記支持部は、連結された2以上の部材からなり、該部材のうち第1の部材は、一方の端部が前記可動部に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記光反射部材と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部材を前記可動部の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光スイッチ。

31. 請求項27から30のいずれか1項に記載の光スイッチにおいて、前記単位構造部材を構成する薄膜は、周縁に段差が形成されていることを特徴とする光スイッチ。

32. 請求項27から31のいずれか1項に記載の光スイッチにおいて、上段に位置する前記単位構造部材の前記支持部が、すぐ下の段の前記単位構造部材の平面部に搭載された形状であることを特徴とする光スイッチ。

33. 請求項32に記載の光スイッチにおいて、積み重ねられた前記単位構造部材は、上段に位置する前記単位構造部材ほど、前記支持部の数が少ないことを特徴とする光スイッチ。

34. 請求項27から33のいずれか1項に記載の光スイッチにおいて、複数の前記単位構造部材のうち、最下段の単位構造部材は、前記可動部と一体に構成されていることを特徴とする光スイッチ。

35. 請求項27から34のいずれか1項に記載の光スイッチにおいて、複数の前記単位構造部材のうち、少なくとも一つの単位構造部材は、

前記ミラー部を構成する部材を成す薄膜と同一の薄膜をパターニングすることにより構成されていることを特徴とする光スイッチ。

36. 請求項27から30のいずれか1項に記載の光スイッチにおいて、前記単位構造部材を構成する薄膜は、3層膜であり、該3層膜のうち最上層の膜と最下層の膜とは、同じ材質であることを特徴とする光スイッチ。

37. 光反射部材を含むミラー部、該ミラー部を搭載した可動部と、前記光反射部材の角度を維持するために前記ミラー部を構成する部材の一部と接する保持部とを有し、

前記保持部は、薄膜立体構造体であり、

該薄膜立体構造体は、前記可動部上に順に積み重ねられた複数の単位構造部材を有し、

前記単位構造部材は、中空の開口を有する支持部と、前記開口を覆う平面部と、前記支持部の前記中空の開口を充填する充填材とを含み、前記支持部および前記平面部は、それぞれ薄膜によって形成され、

積み重ねられた前記単位構造部材は、上段に位置する前記単位構成部材の前記支持部が、すぐ下の段の前記単位構造部材の前記平面部に搭載された形状であることを特徴とする光スイッチ。

38. 請求項37に記載の光スイッチにおいて、前記薄膜立体構造体は前記光反射部もしくは前記支持部のいずれかと接触し、前記光反射部もしくは前記支持部の前記接触部分に、前記薄膜立体構造体と前記光反射部もしくは前記支持部との相対的なズレを防止する位置ズレ防止手段を有することを特徴とする光スイッチ。

39. 請求項38に記載の光スイッチにおいて、前記位置ズレ防止手段が前記光反射部もしくは前記支持部に形成された凹溝構造であることを特徴とする光スイッチ。

40. 請求項37から39のいずれか1項に記載の光スイッチにおいて、上段に位置する前記単位構造部材の前記支持部を構成する前記薄膜と、それを搭載する下の段の前記単位構造部材の前記平面部を構成する前記薄膜とが、固着していることを特徴とする光スイッチ。

41. 基板と、一方の端部が基板に固定された可動部と、前記可動部の他方の端部側に搭載されたミラー部とを有し、

前記可動部は、2以上の膜によって構成され、該2以上の膜の内部応力によって湾曲することにより、前記ミラー部を搭載した他方の端部を前記基板上に持ち上げる構成であり、

前記ミラー部は、光反射面が、前記基板の主平面に対して垂直方向を向くように前記可動部に搭載された光反射部材を有し、

該光反射部材は、上端の縁が、前記可動部が前記ミラー部を持ち上げた状態で、前記基板に対して平行になるように、傾斜して前記可動部に搭載されていることを特徴とする光スイッチ。

42. 基板と、所望の光学特性をもつ光学膜と、前記光学膜を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記支持部は、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が、直接または他の部材を介して前記光学膜を構成する膜と接続され、前記一

方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光学膜を構成する膜の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光学素子。

43．光学素子と、前記光学素子を搭載した可動部と、前記可動部を保持する基板とを有し、

前記可動部は、1以上の膜からなり、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部側に前記光学素子が搭載され、少なくとも前記固定された前記一方の端部に近い部分は、2以上の膜が積層された積層体からなり、前記積層体が内部応力によって湾曲することにより前記他方の端部を前記基板から離れた位置に支持する構成であり、

前記可動部には、前記光学素子を搭載している部分の周縁に沿って段差が形成されていることを特徴とする光学装置。

44．請求項43に記載の光学装置において、前記段差を形成するために、前記可動部には、前記光学素子を搭載している部分の周縁に沿って凸部が形成されていることを特徴とする光学装置。

45．光学素子と、前記光学素子を搭載した可動部と、前記可動部を保持する基板とを有し、

前記可動部は、少なくとも一部が2以上の膜からなる積層体であり、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部側に前記光学素子が搭載され、前記積層体が内部応力によって湾曲することにより前記他方の端部を前記基板から離れた位置に支持する構成であり、

前記積層体は、金属膜を含み、前記金属膜は、予め定められたパターンにパターニングされており、前記パターンは、静電力により前記可動

部を駆動するための電極として作用する静電力用電極パターンを含むことを特徴とする光学装置。

46. 請求項45に記載の光学装置において、前記金属の膜の前記パターンは、さらに、ローレンツ力により前記可動部を駆動するための電流経路として作用するローレンツ力用電流路パターンを含むことを特徴とする光学装置。

47. 請求項46に記載の光学装置において、前記静電力用電極パターンおよび前記ローレンツ力用電流路パターンは、それぞれ、前記基板に固定された前記一方の端部を介して、前記基板の電圧印加配線および電流供給配線に接続されていることを特徴とする光学装置。

48. 請求項43から47のいずれか1項に記載の光学装置において、前記光学素子は、所望の光学特性をもつ光学膜と、前記光学膜を前記可動部上に支持する支持部とを有し、

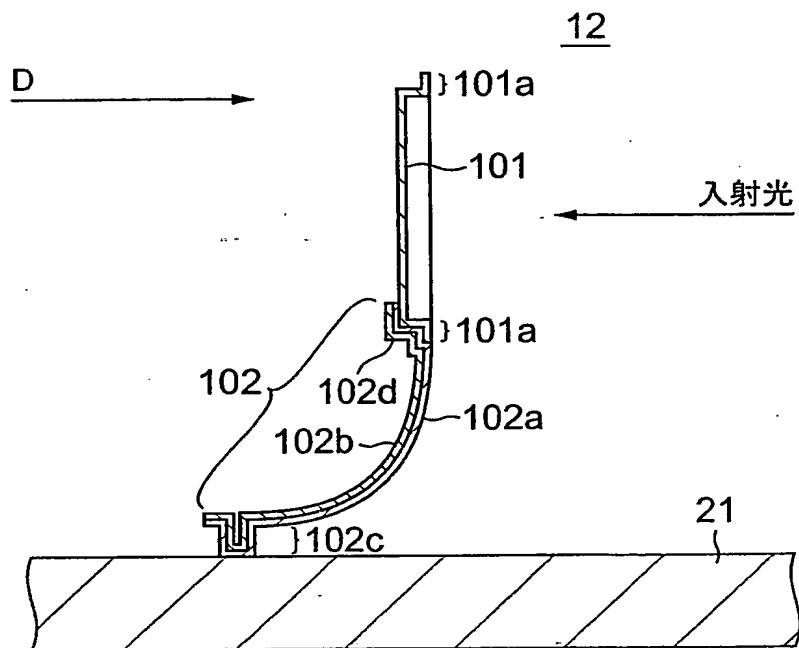
前記支持部は、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が、直接または他の部材を介して前記光学膜を構成する膜と接続され、前記支持部は、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光学膜を構成する膜の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光学装置。

1/44

図 1

(a) A-A断面図



(b) D矢视图

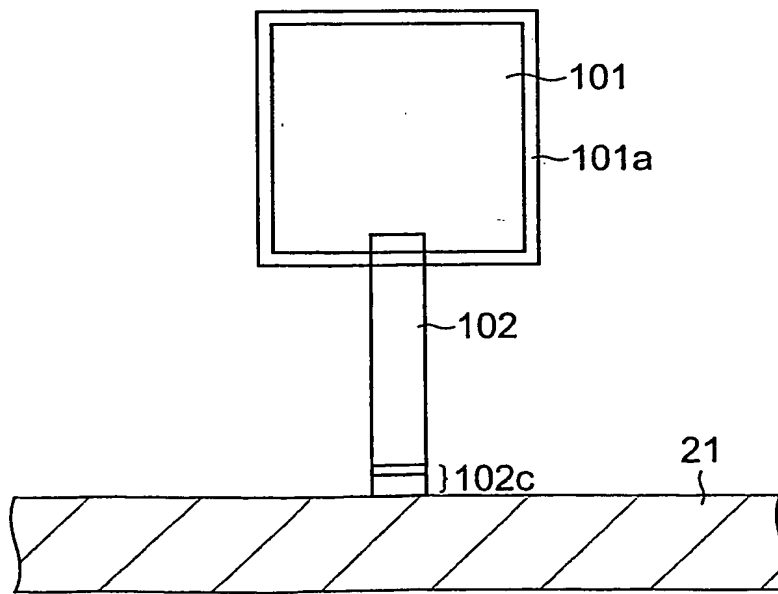


図2

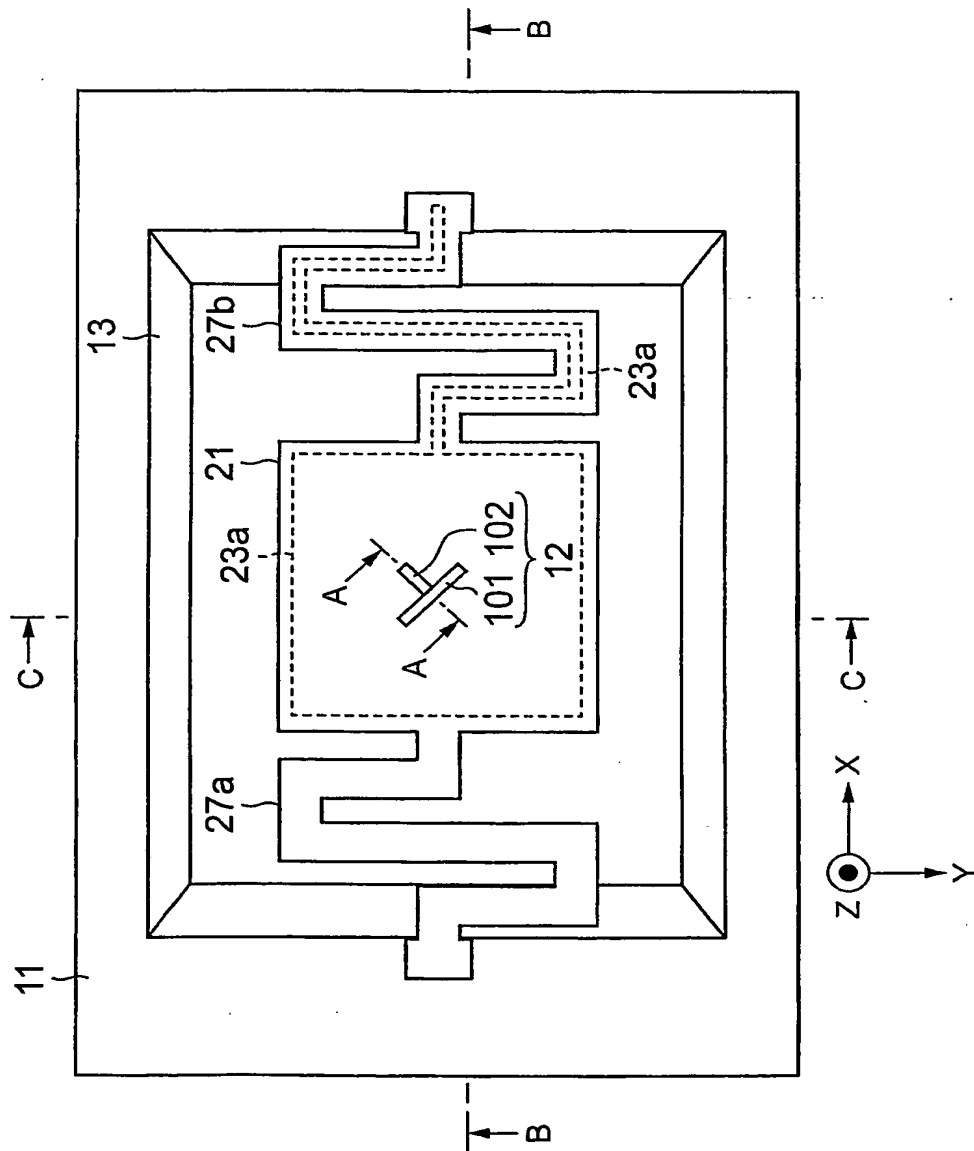


図3 B-B断面図

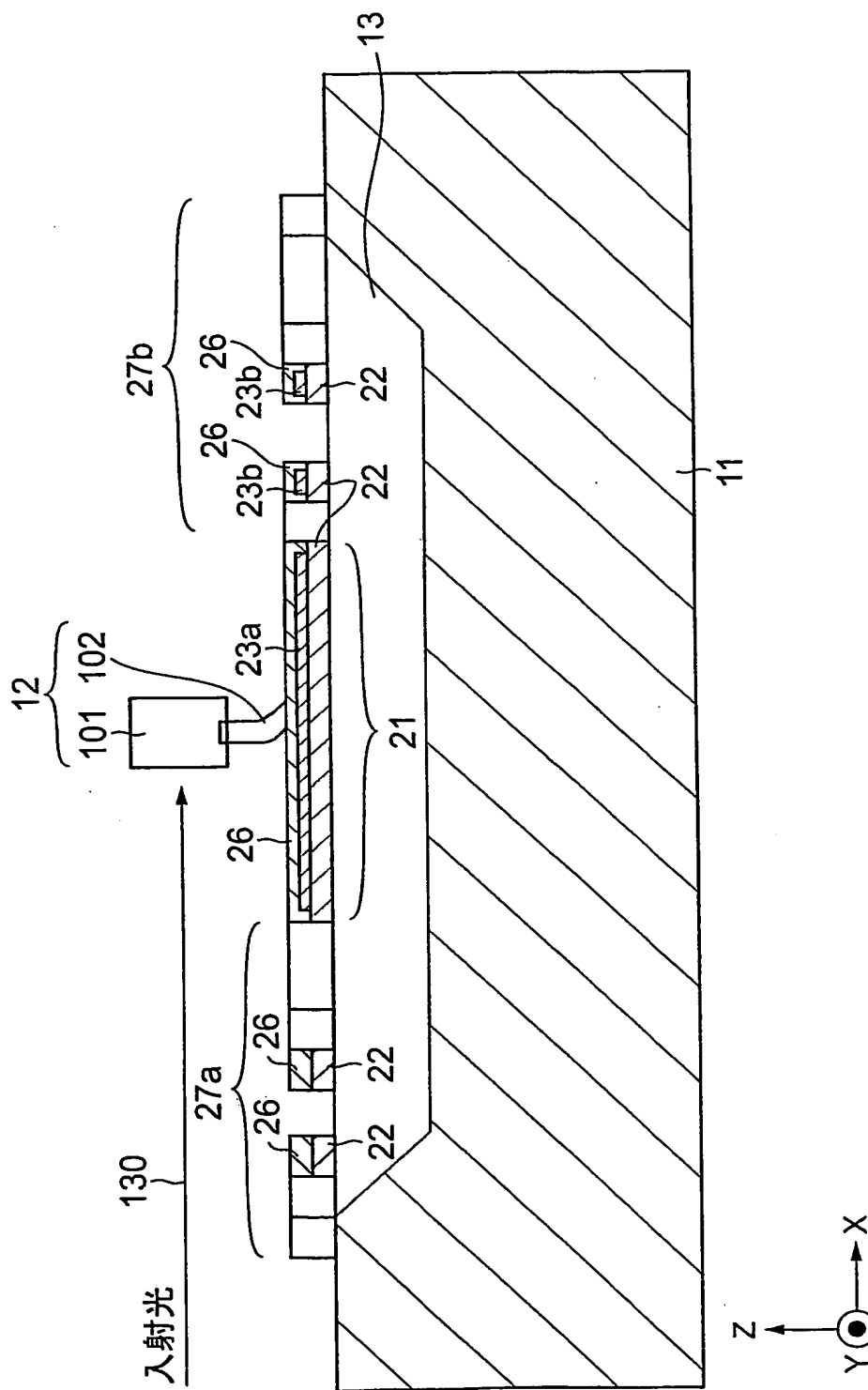


図4

C-C断面図

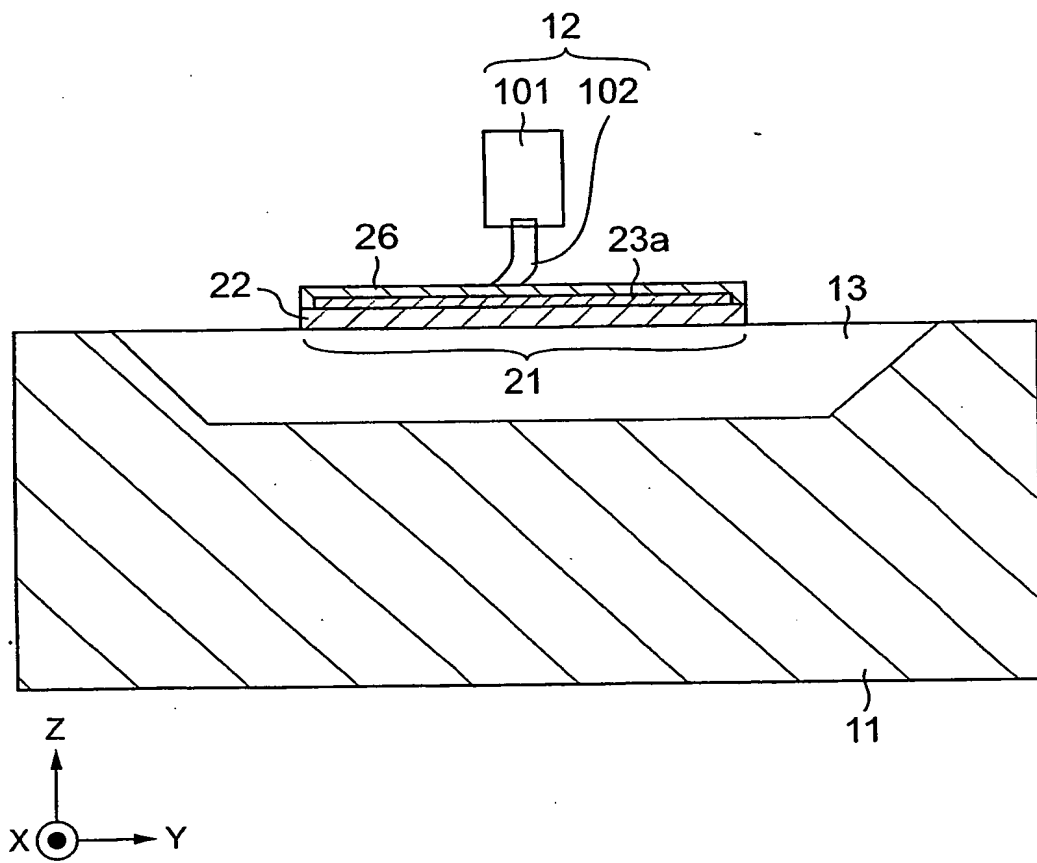


图5 B-B断面图

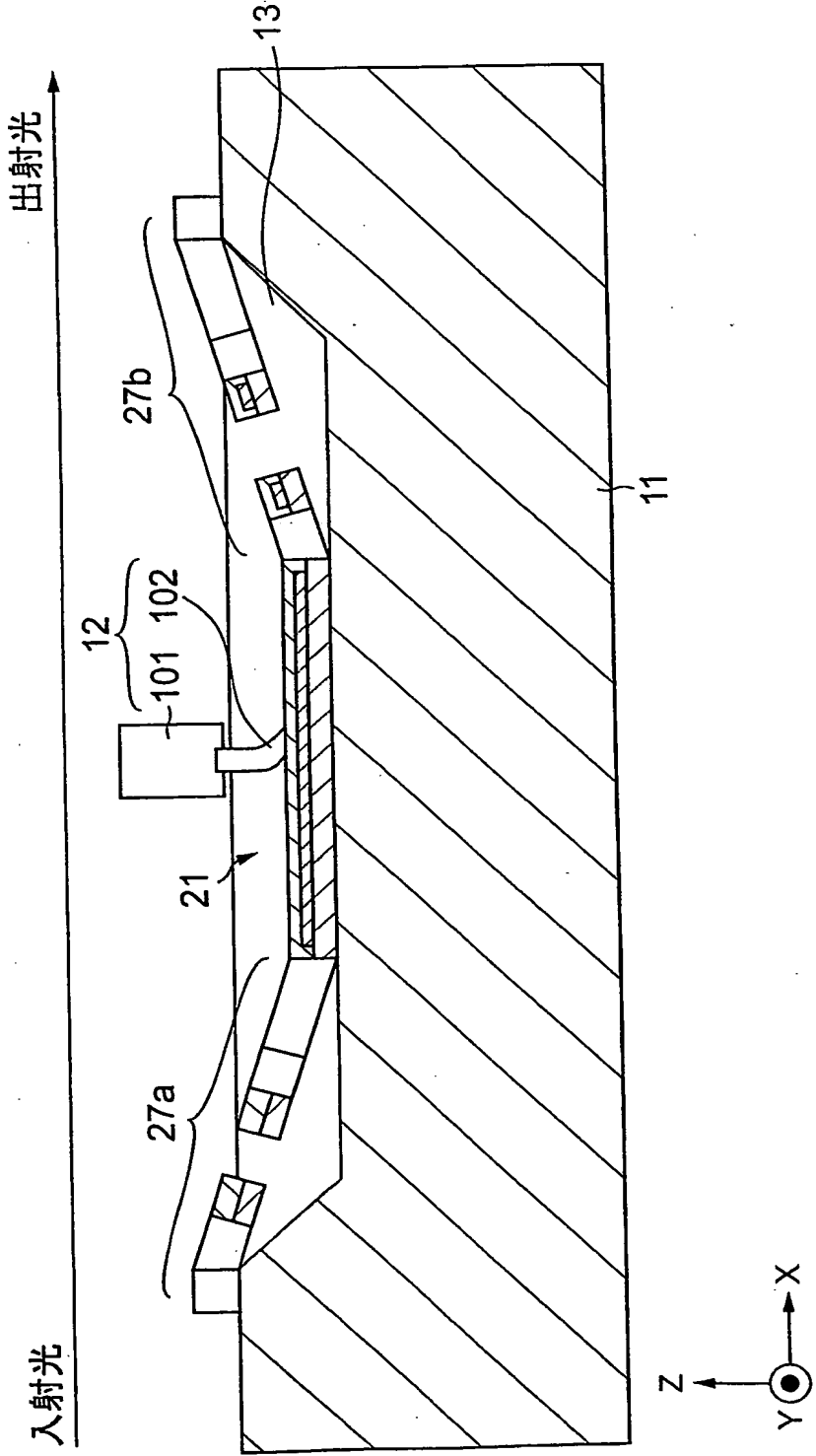
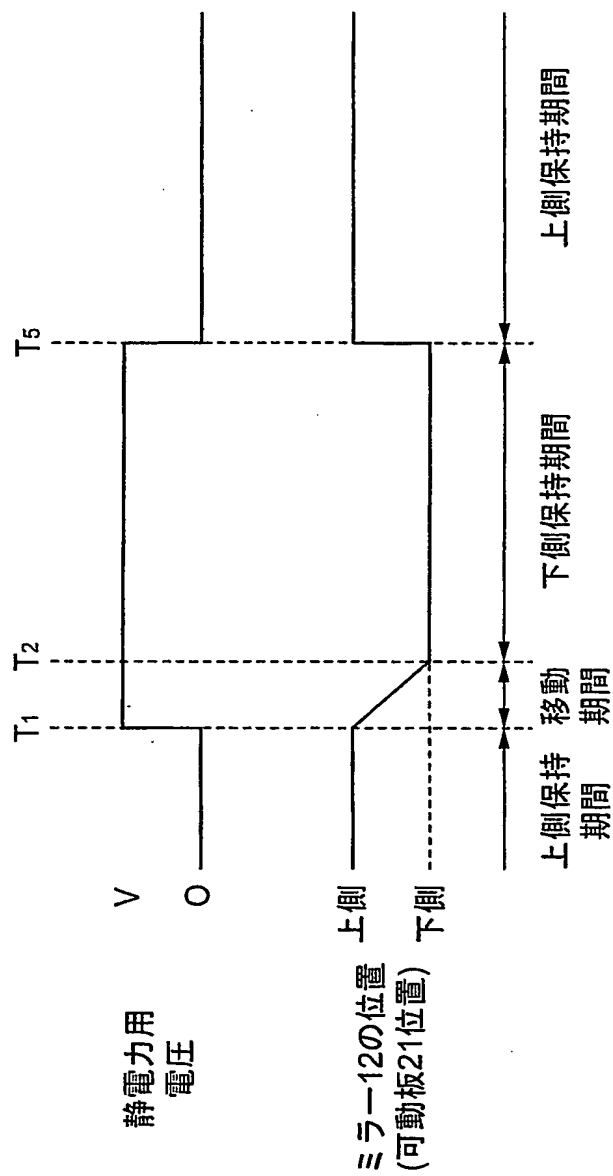
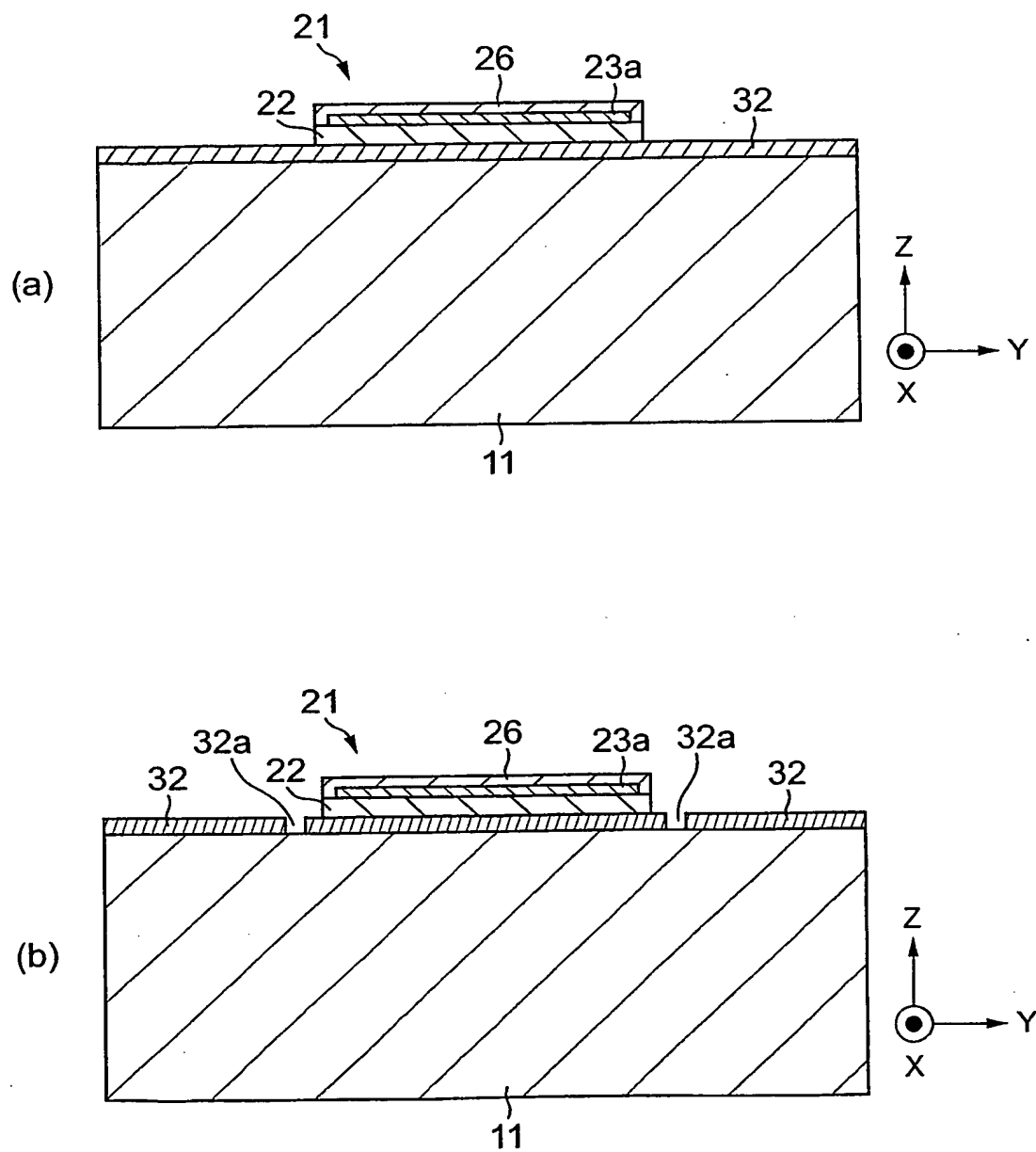


図6



7/44

図7



8/44

図8

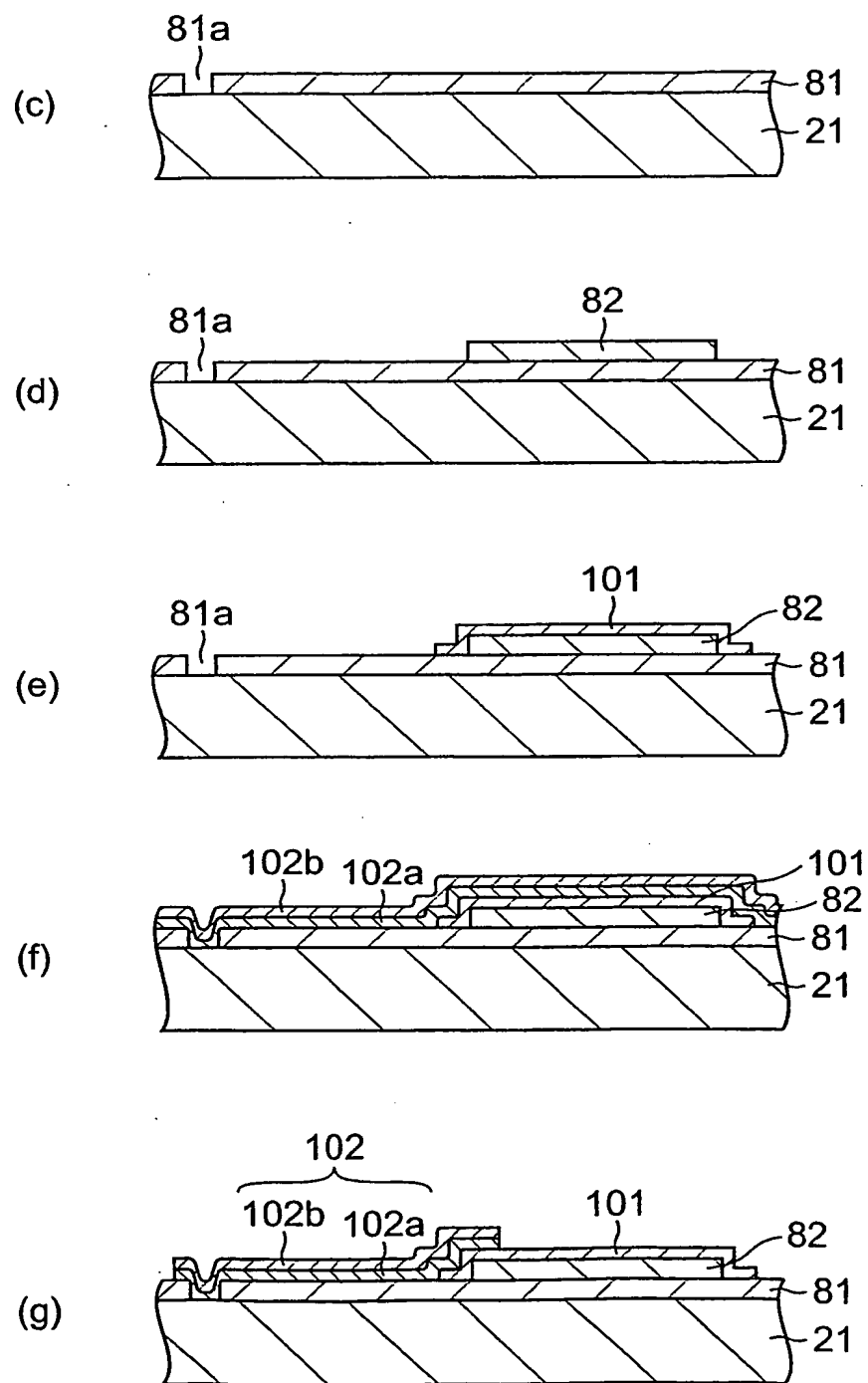
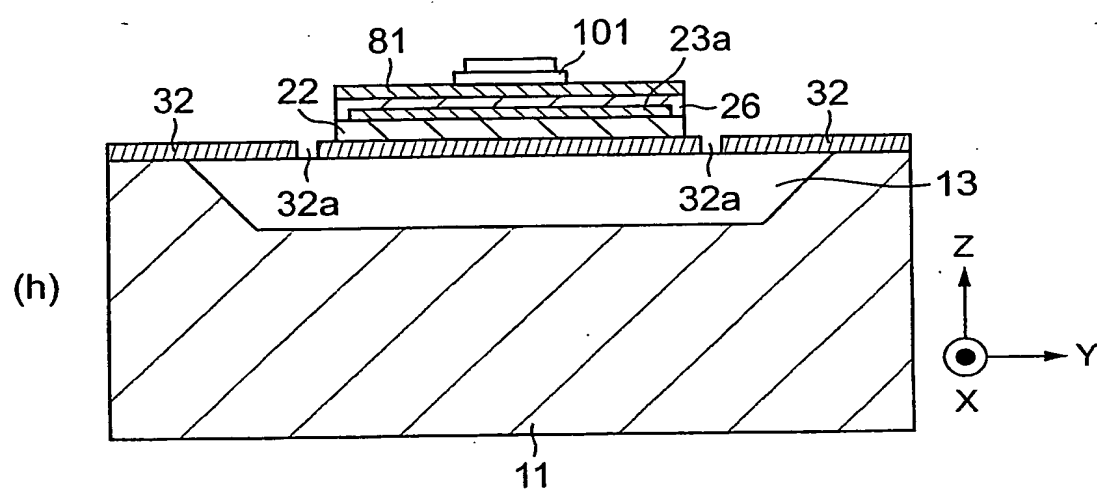


図9



10/44

図10

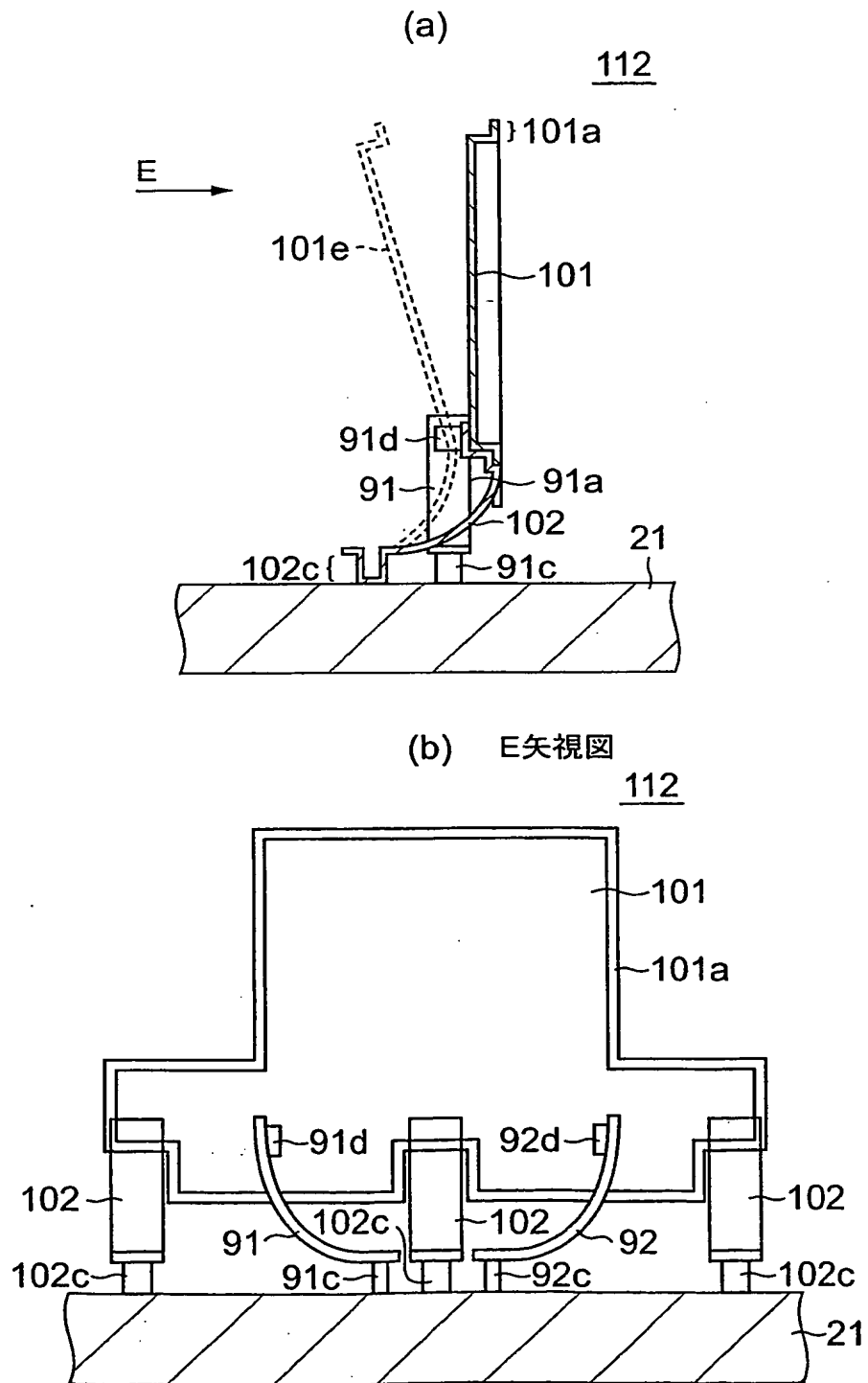
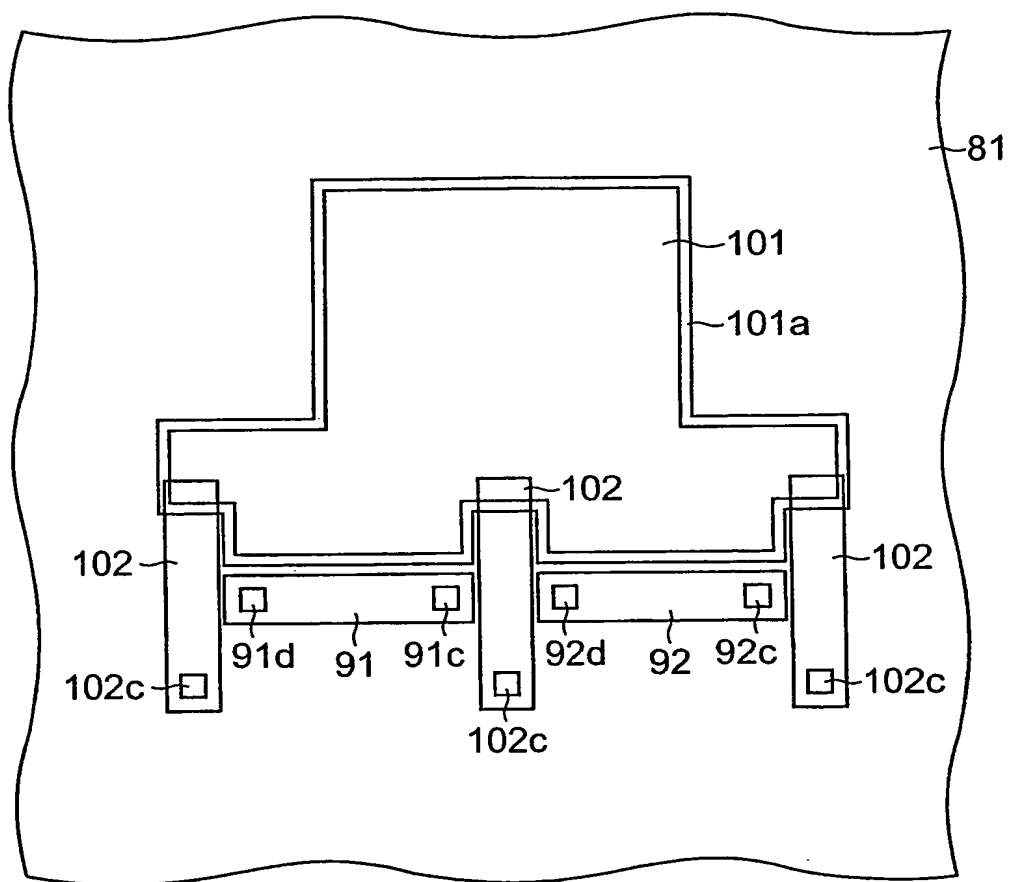
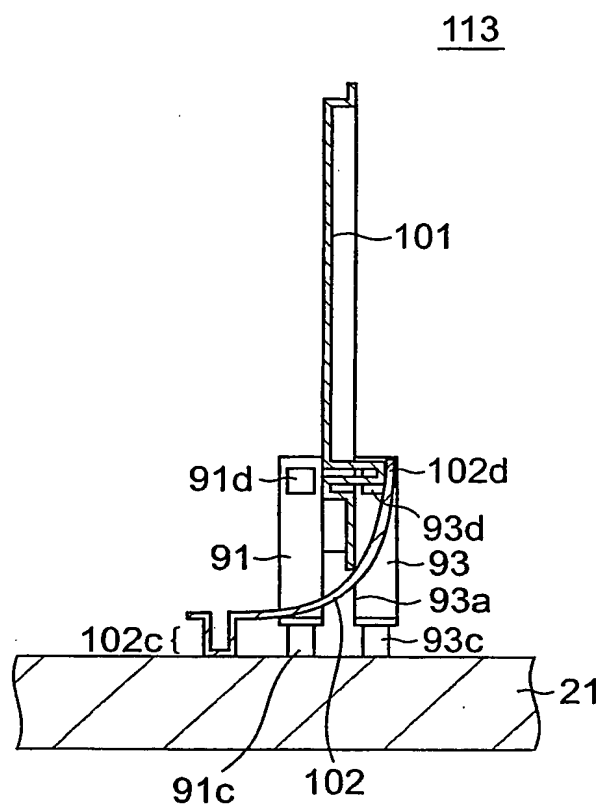


図11



12/44

図12



13/44

図13

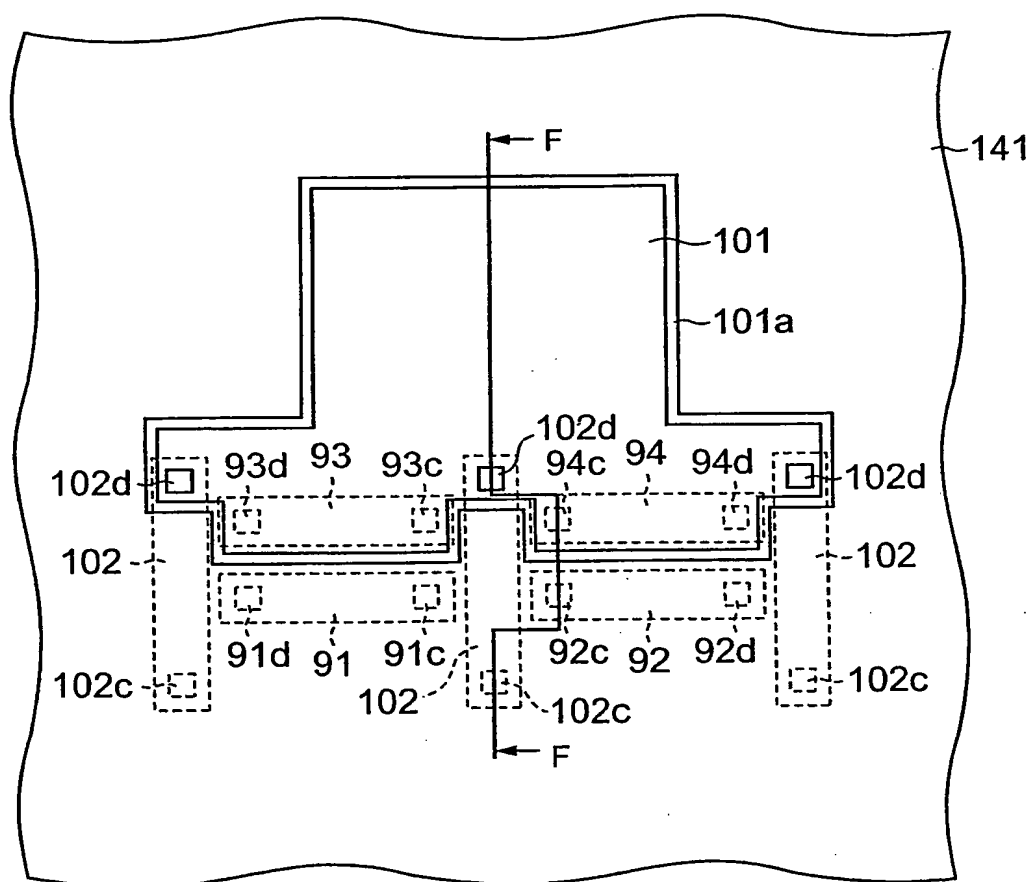
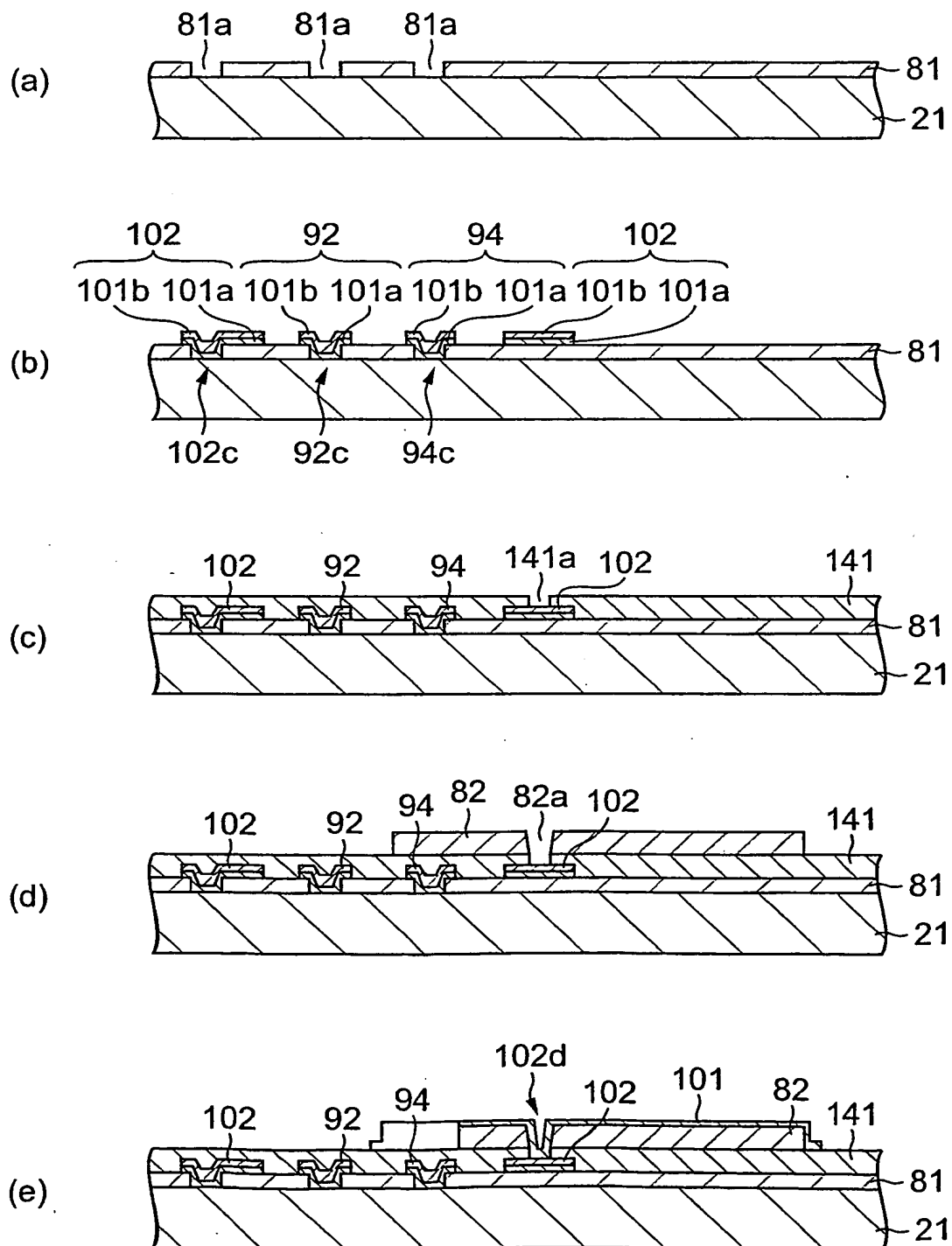


図14

F-F断面図



15/44

図15

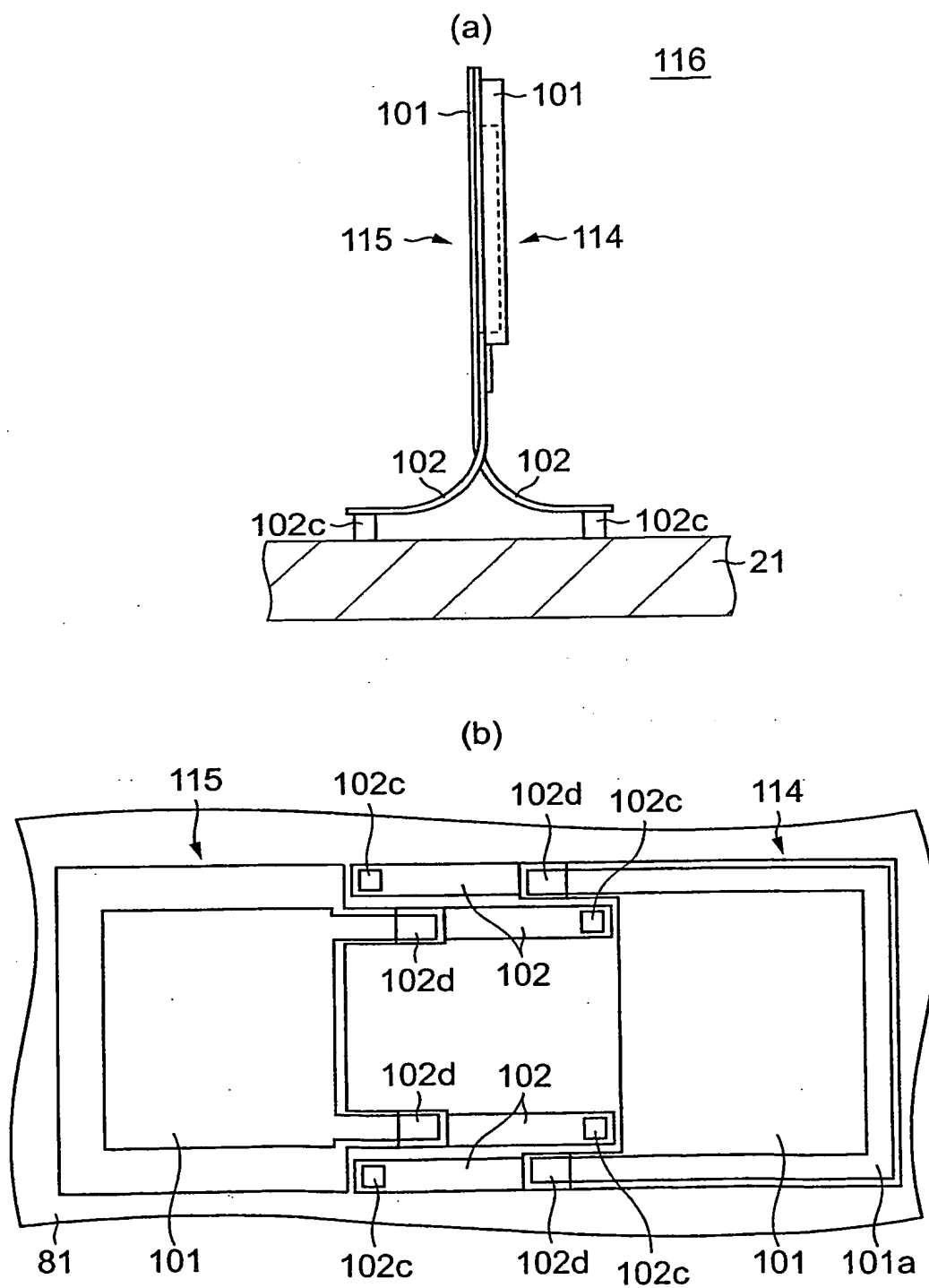


図16

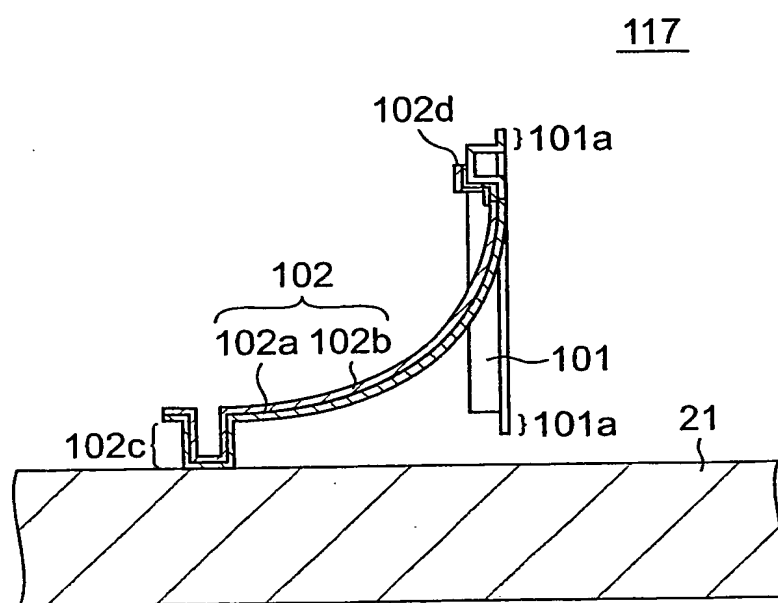
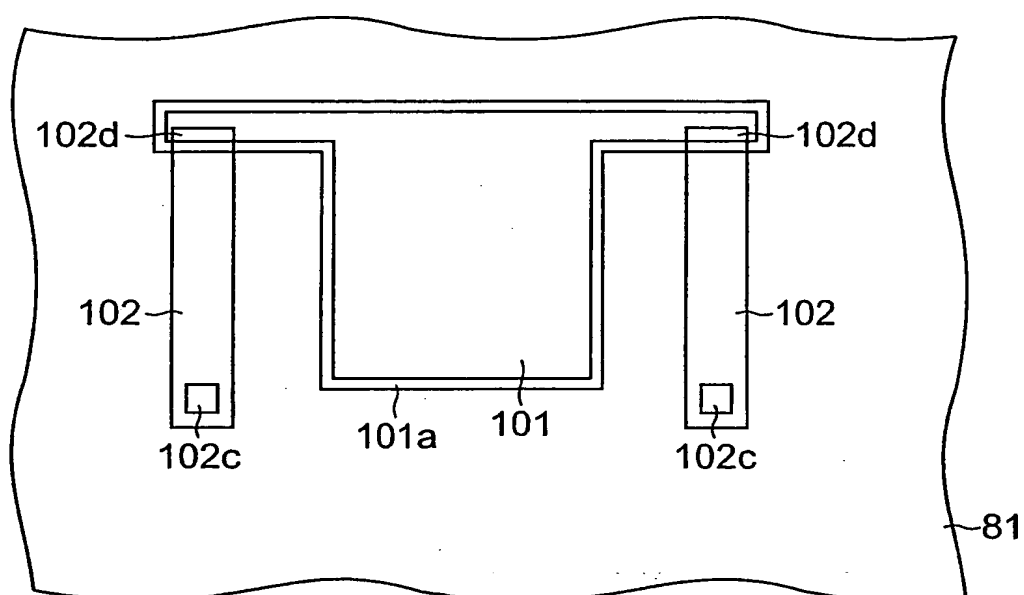


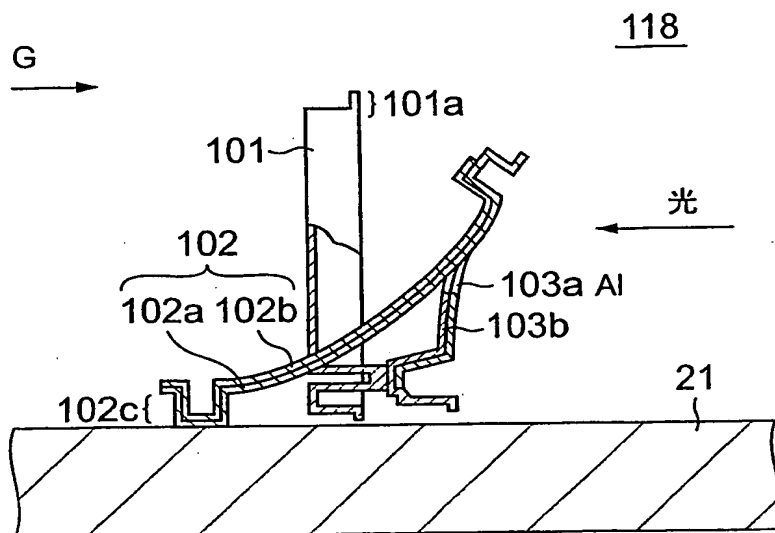
図17



18/44

図18

(a)



(b) G矢視図

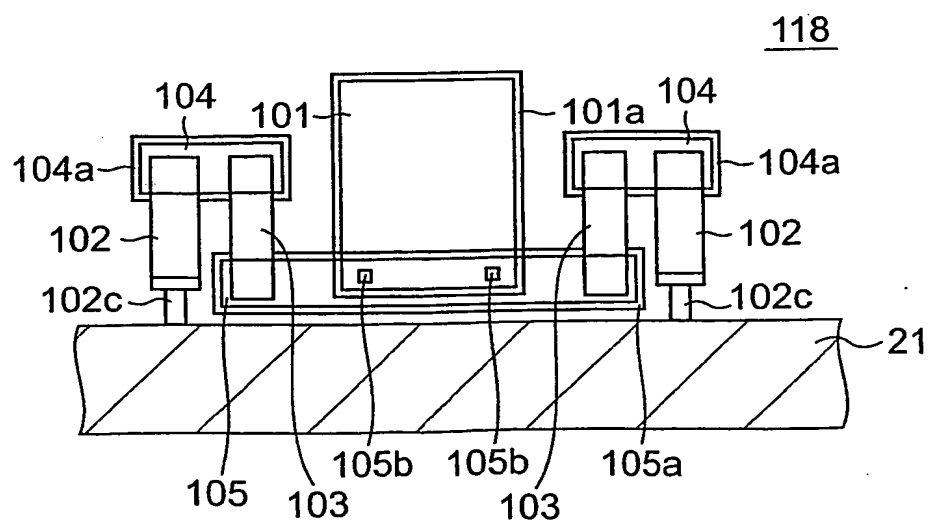


図19

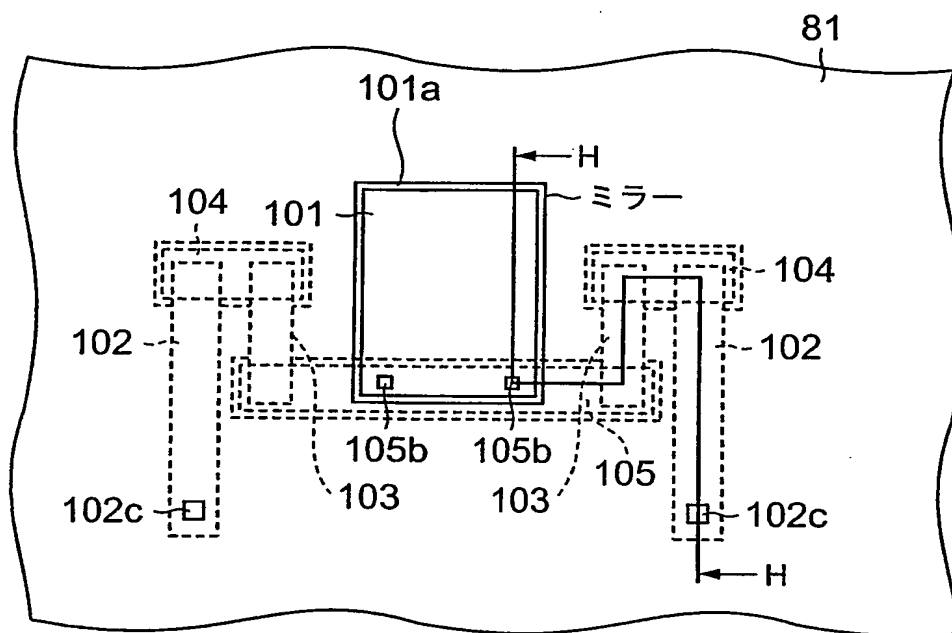
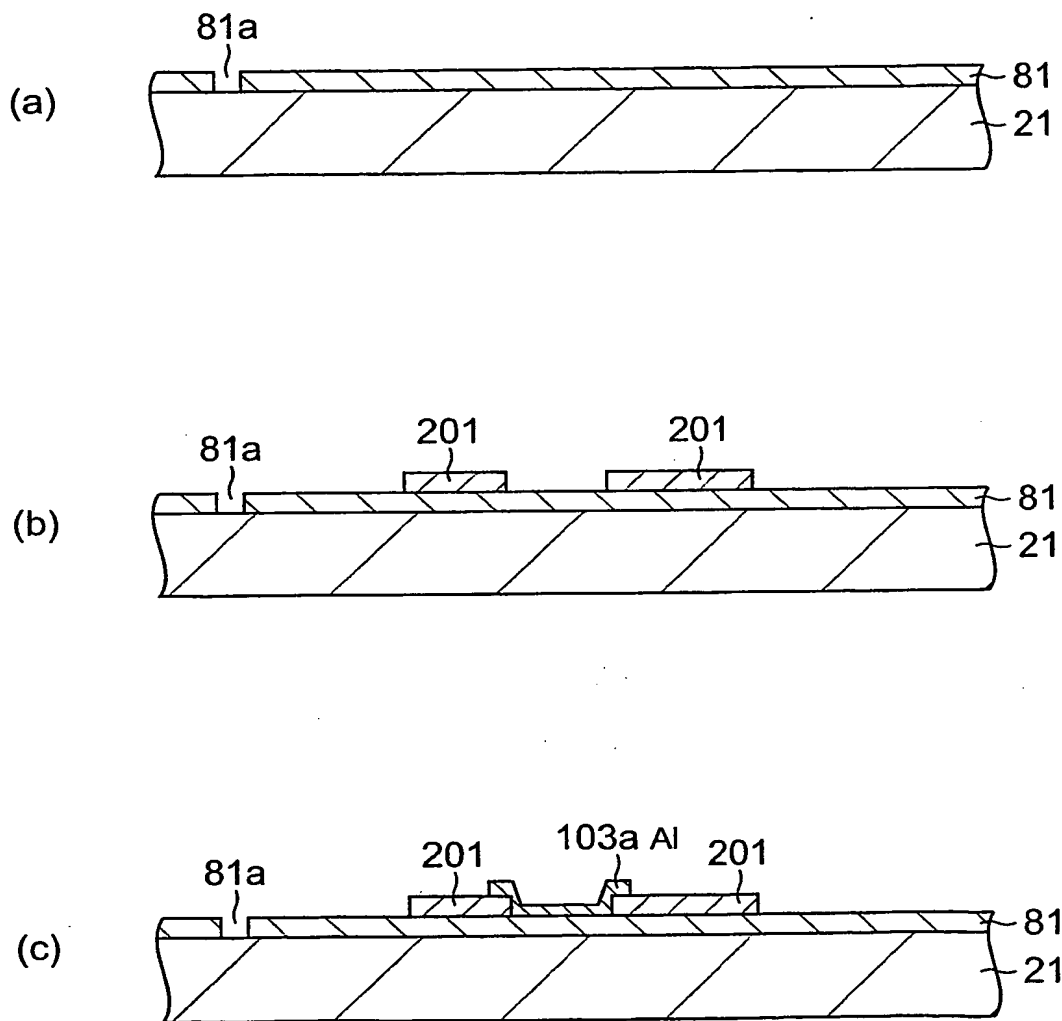


図20

H-H断面図



21/44

図21

H-H断面図

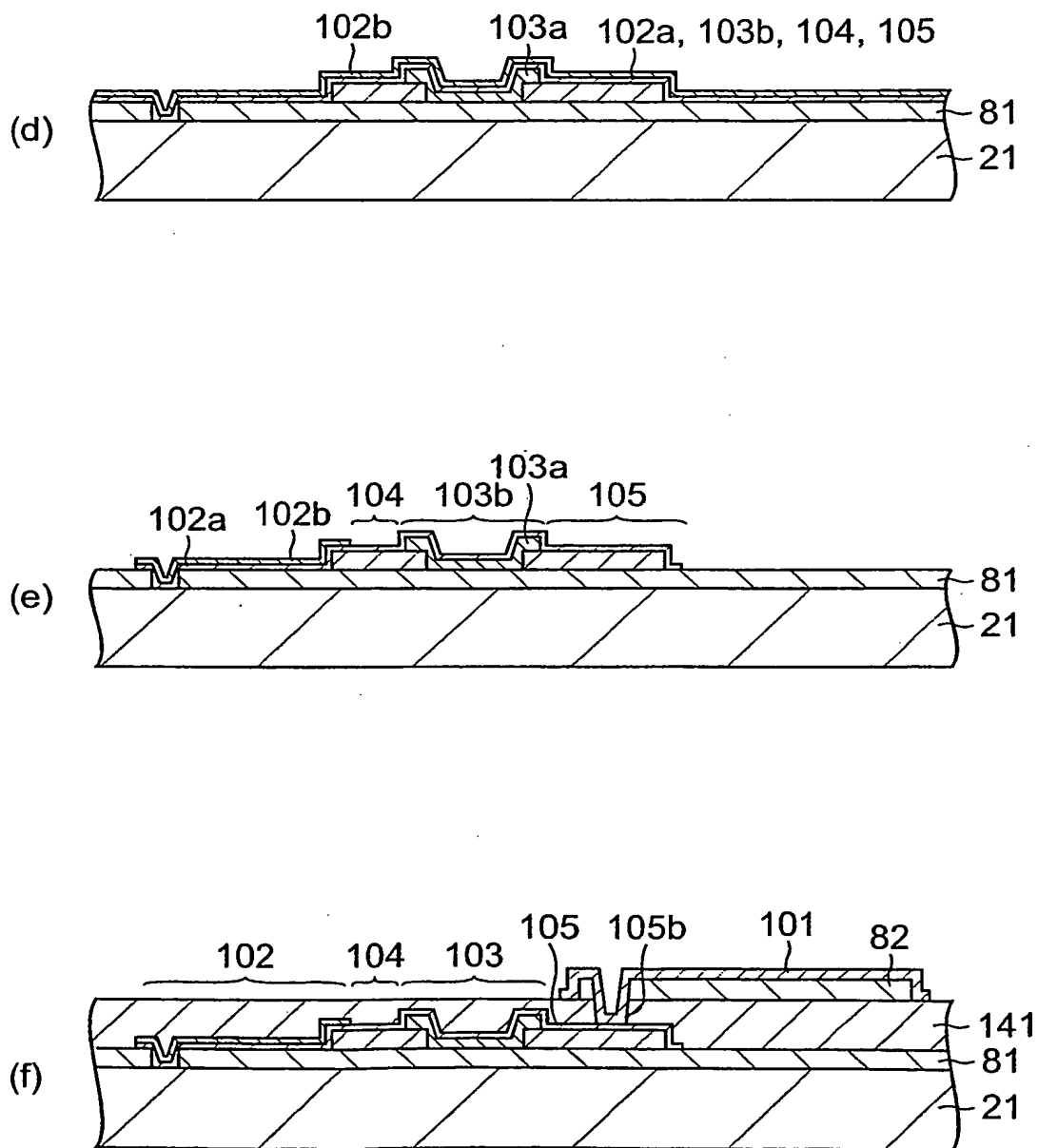


图22

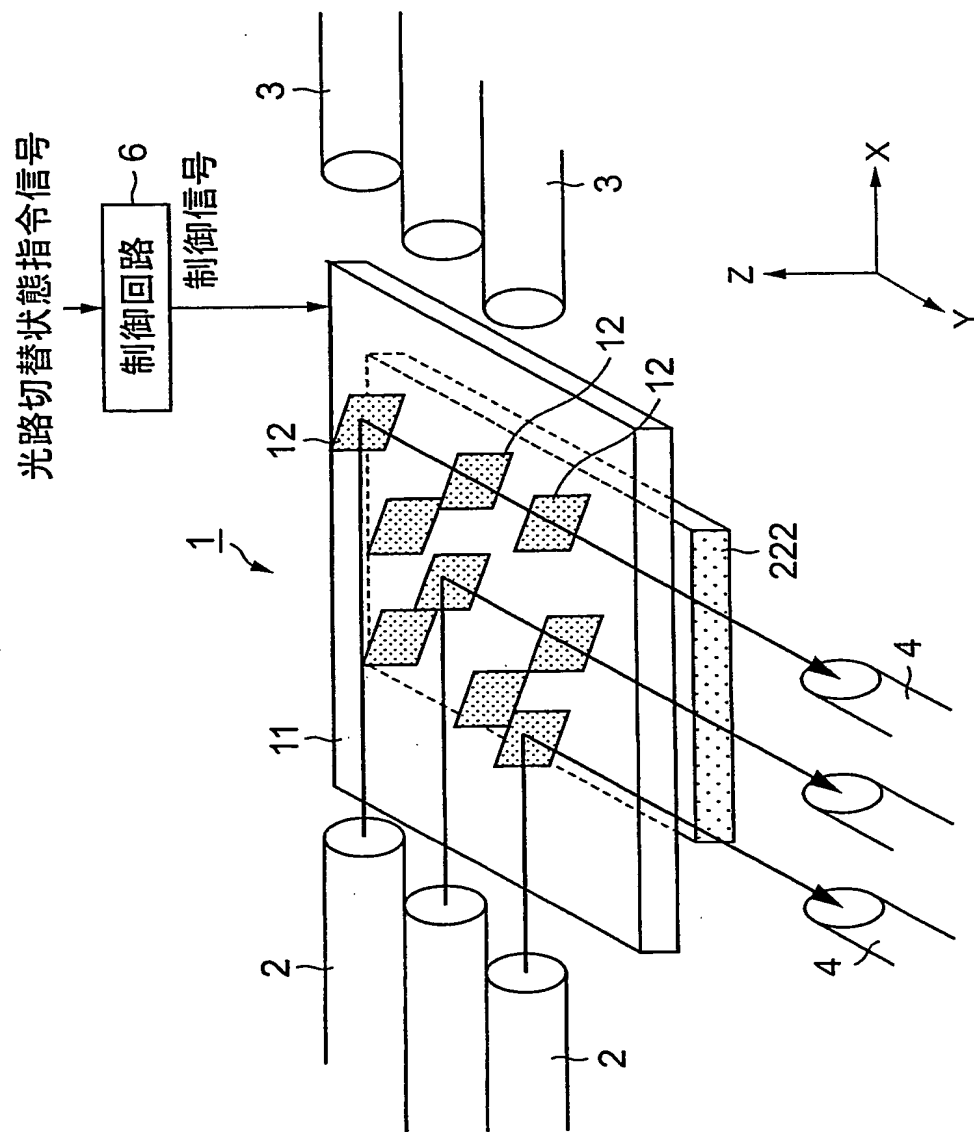
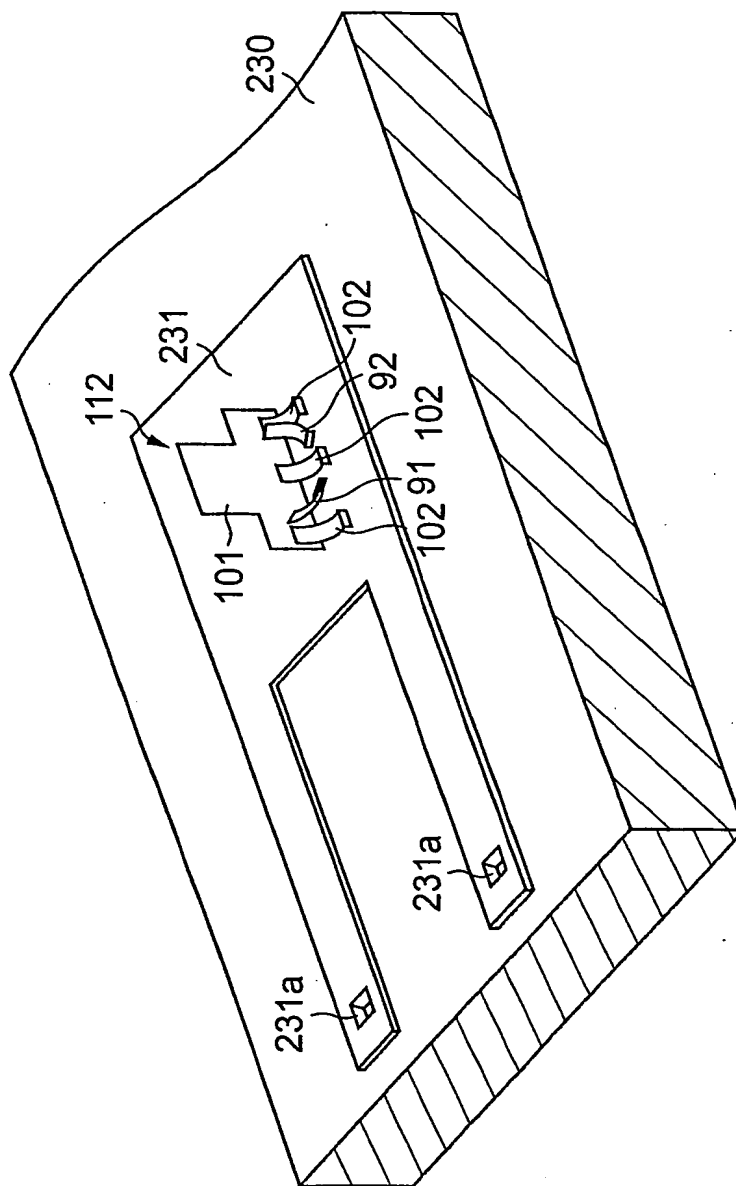
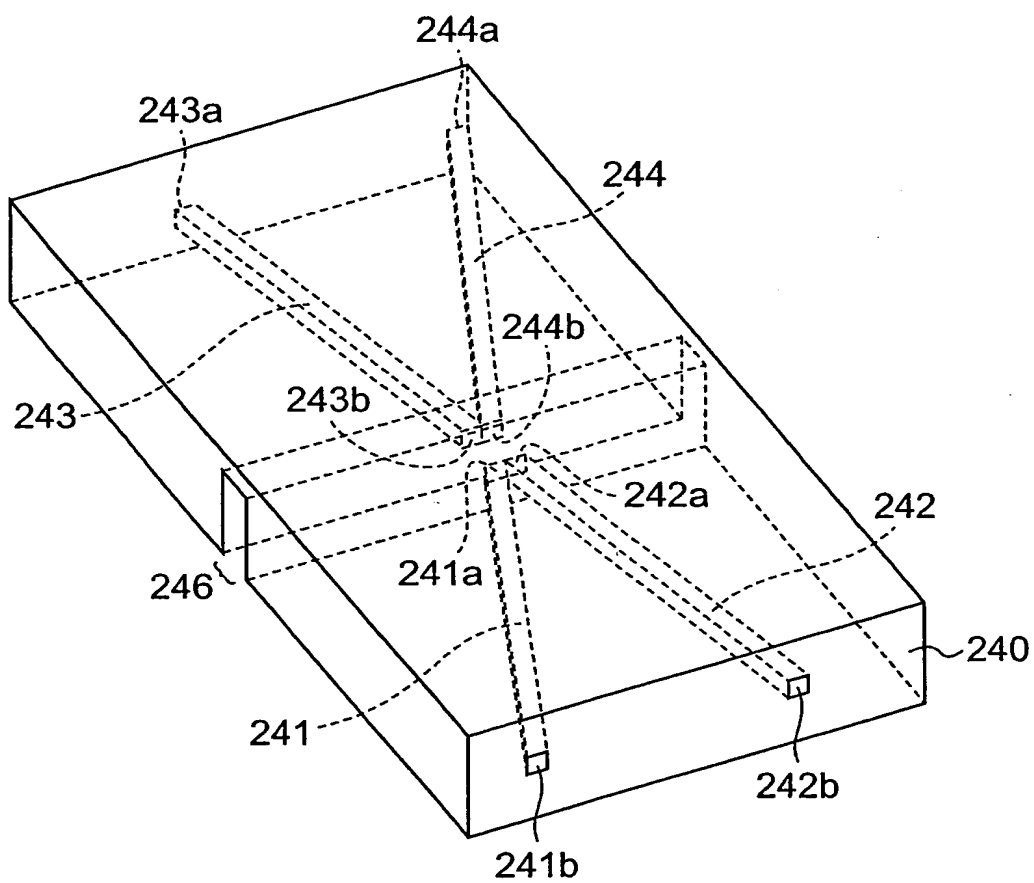


図23



24/44

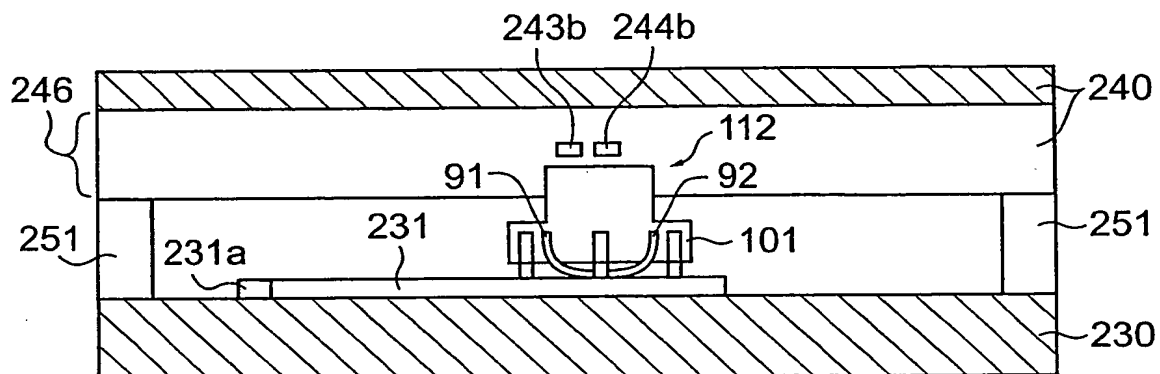
図24



25/44

図25

(a)



(b)

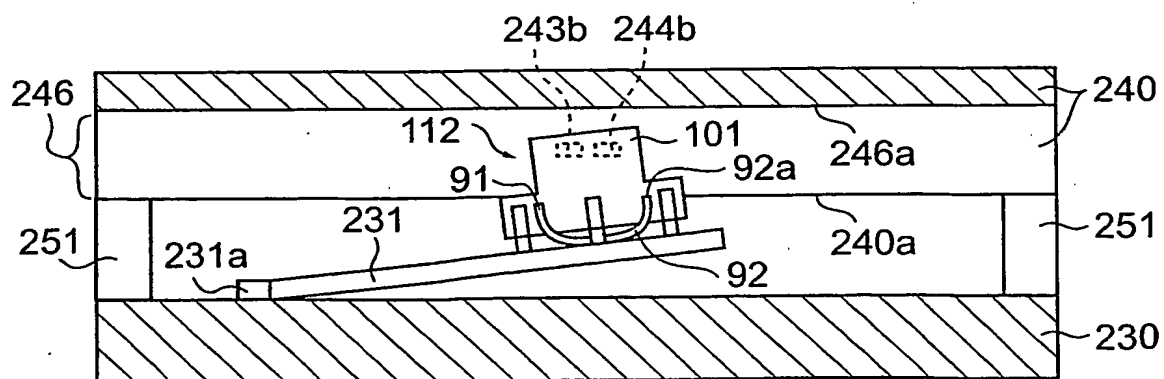
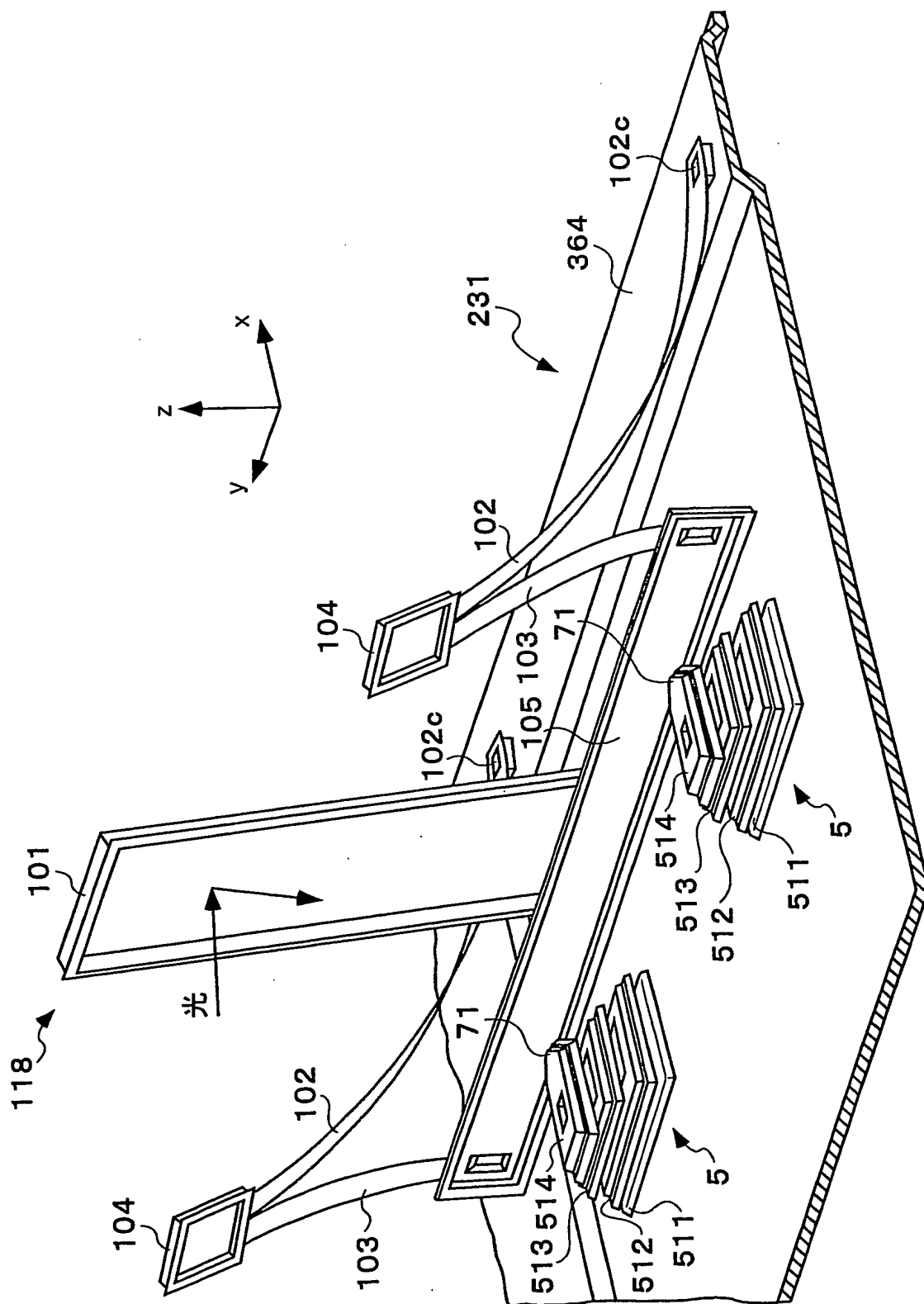
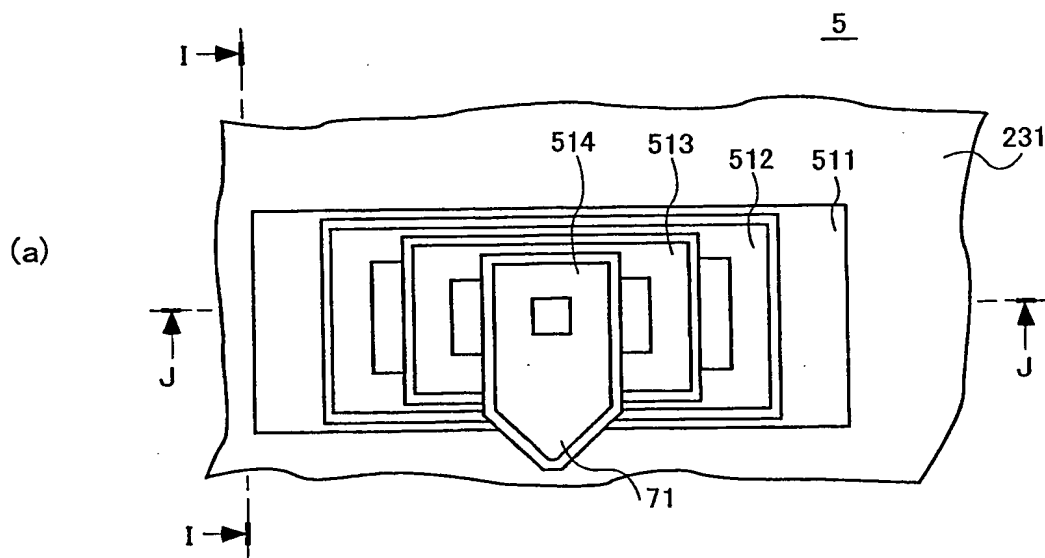


図26

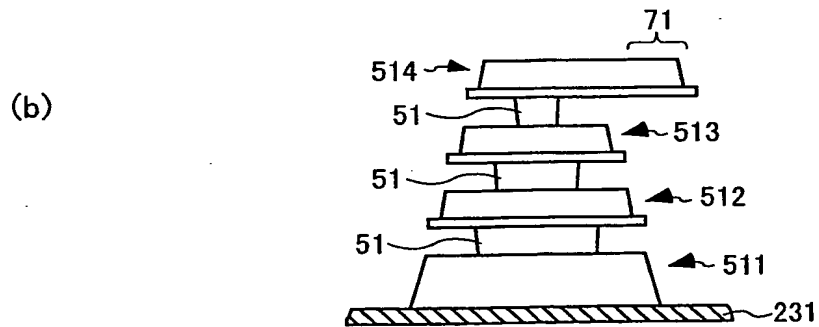


27/44

図27



I-I 断面図



J-J断面図

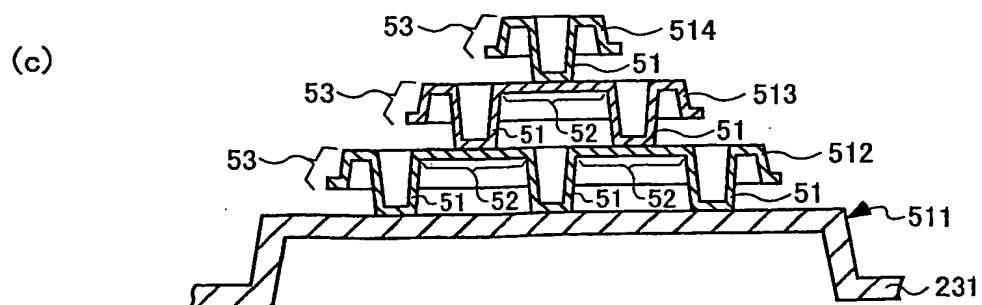


図28

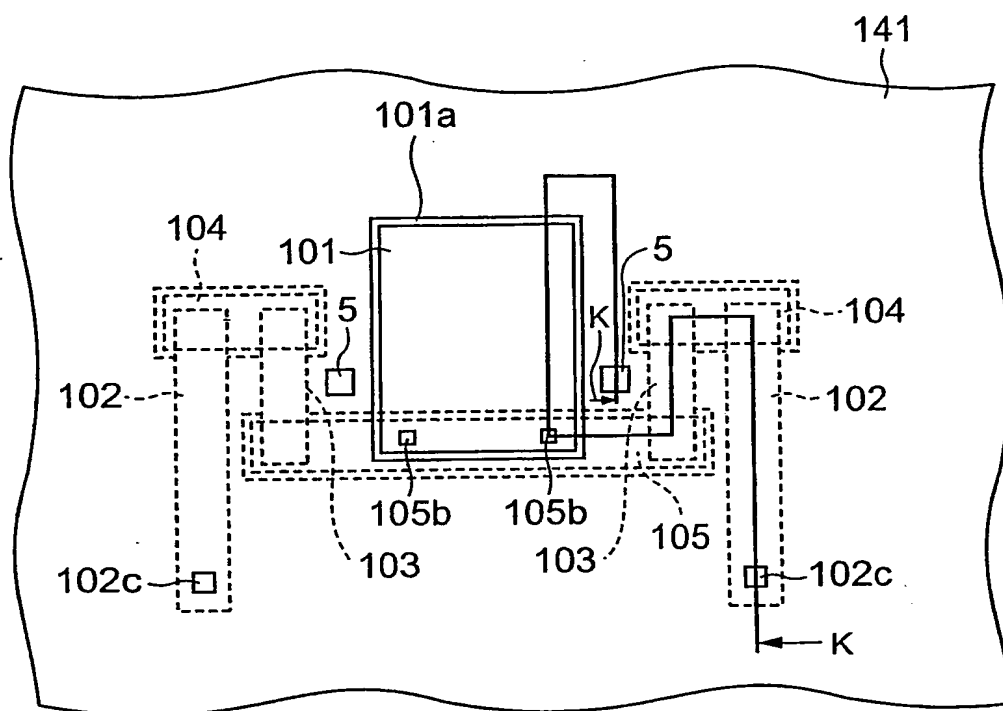


图29 K-K 断面图

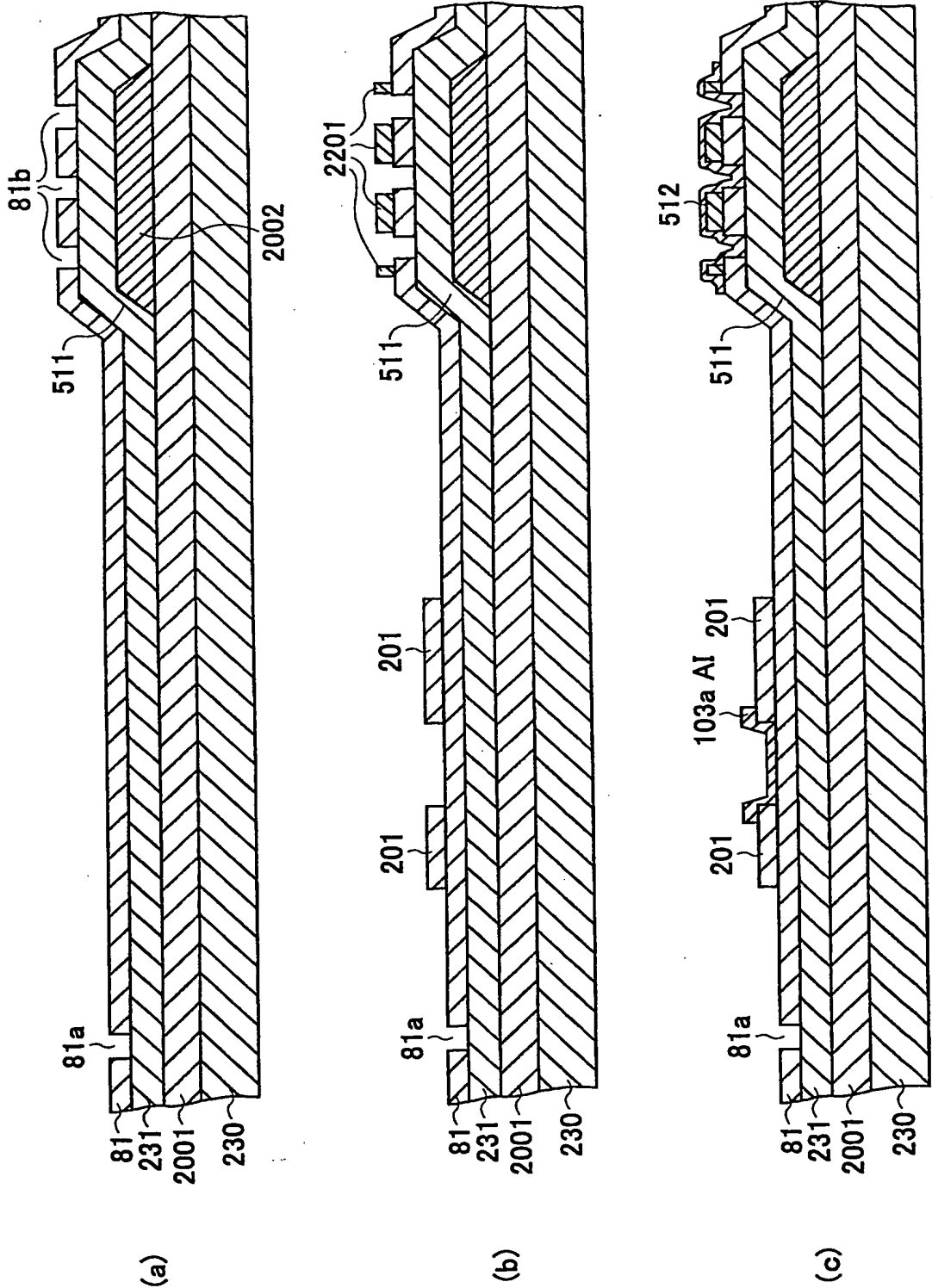


图30 K-K 断面图

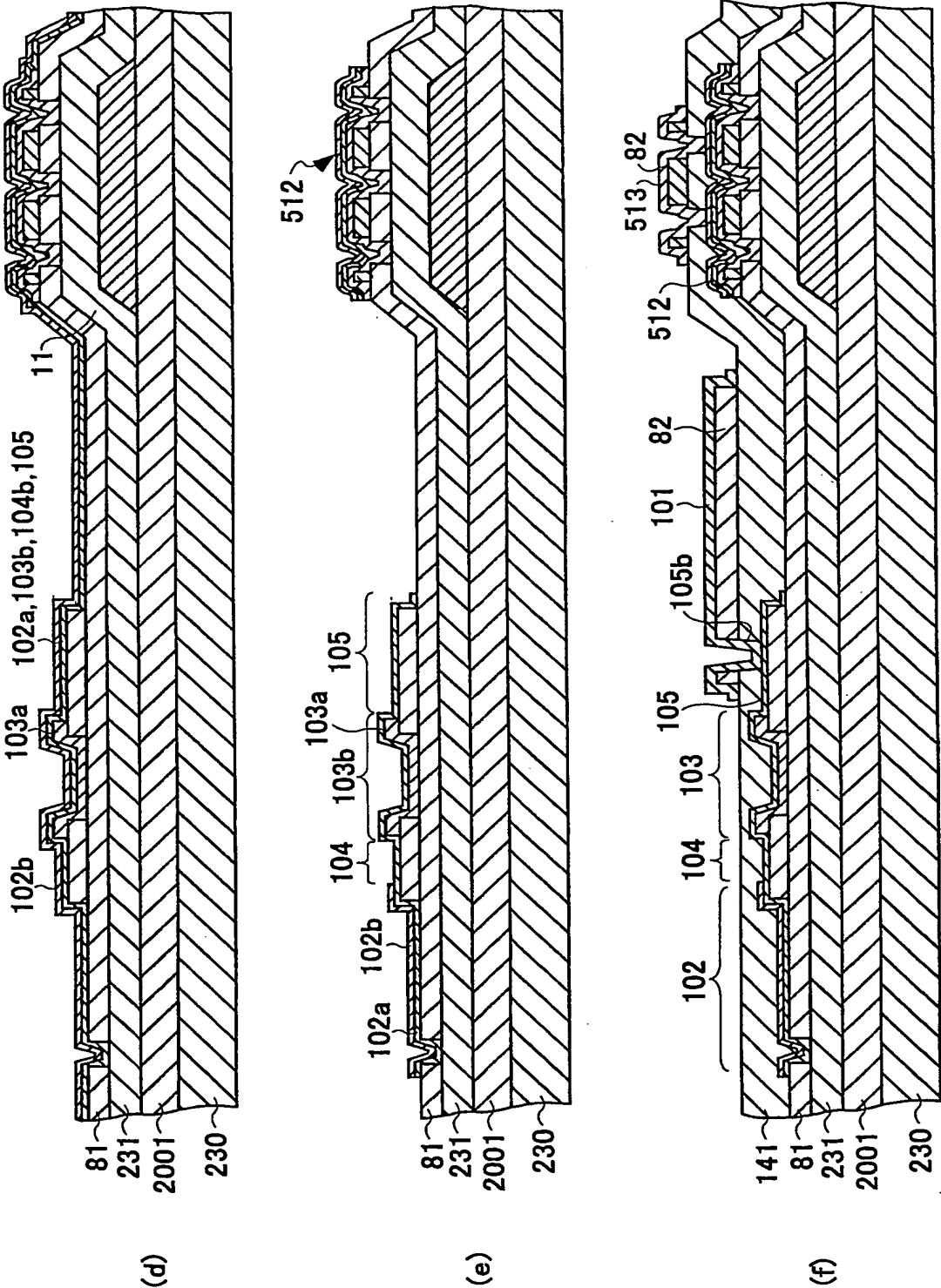
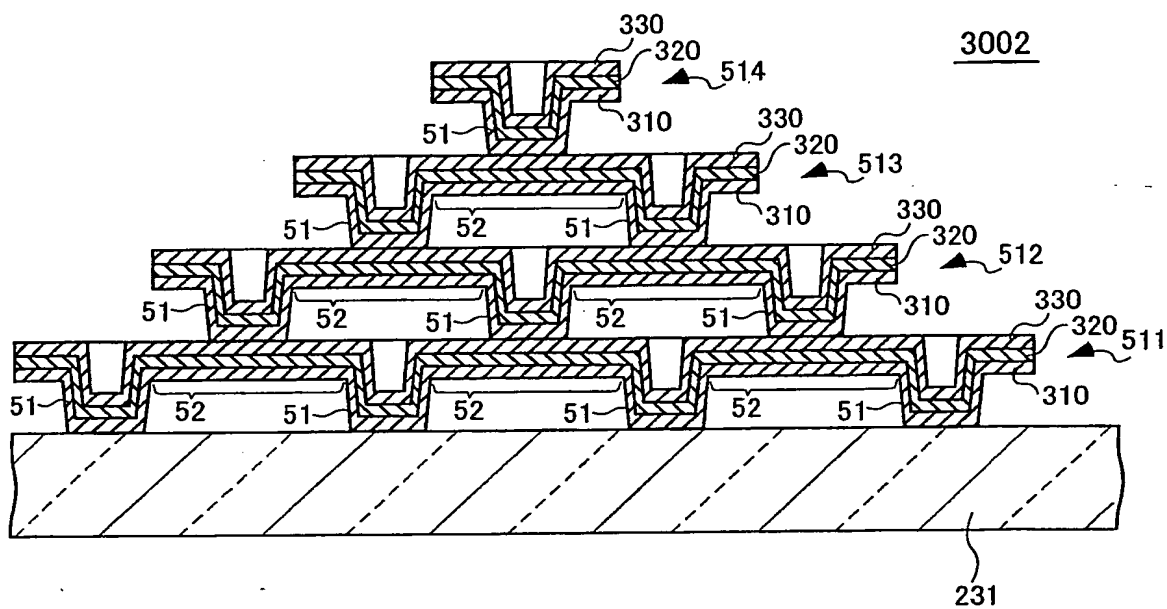


图 31



32/44

図32

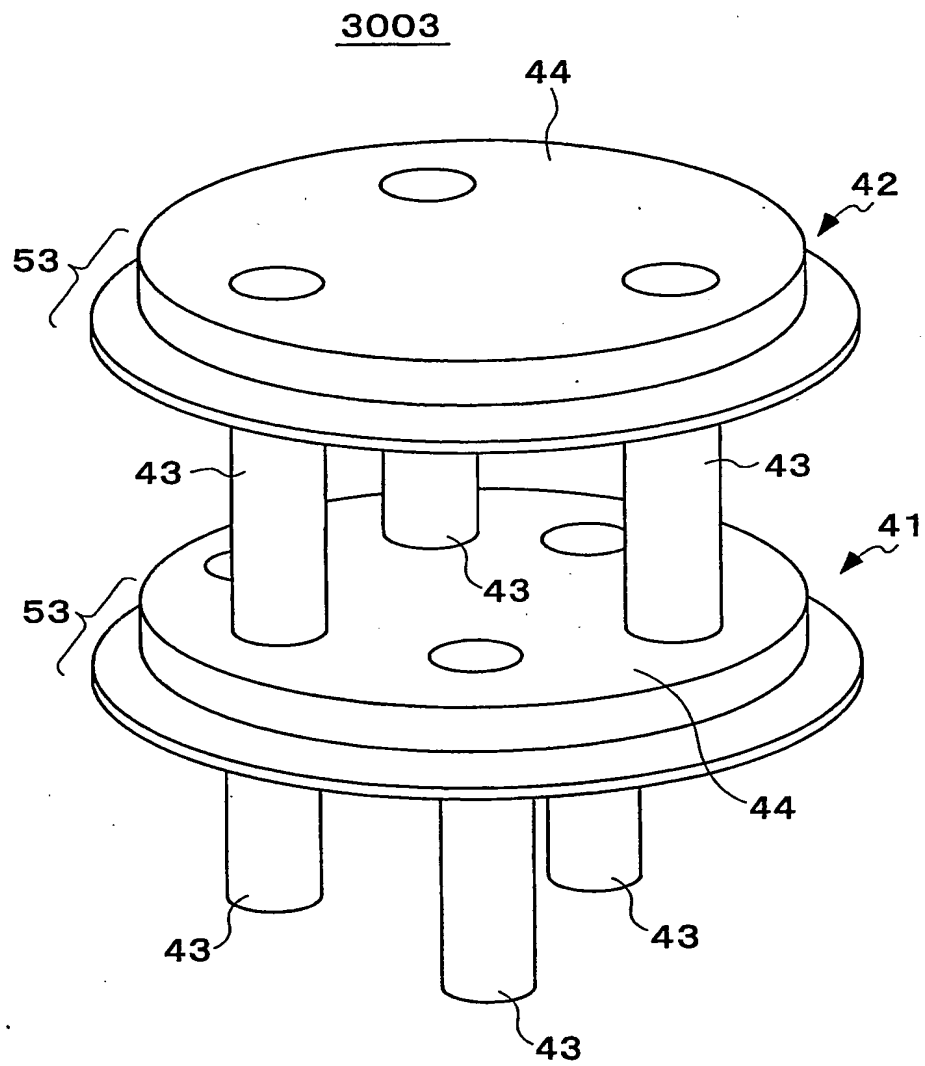
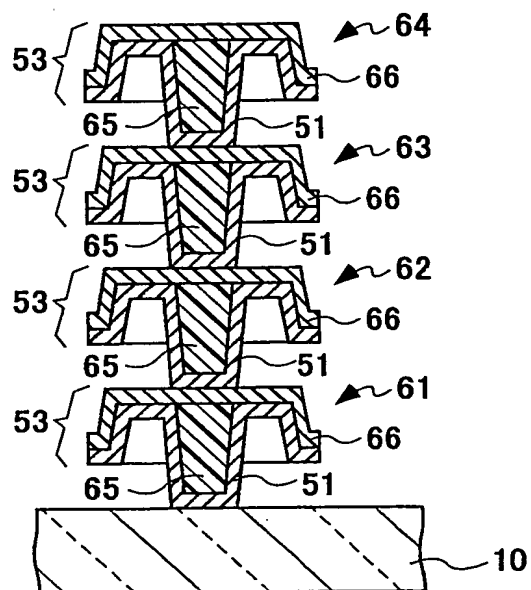


図33

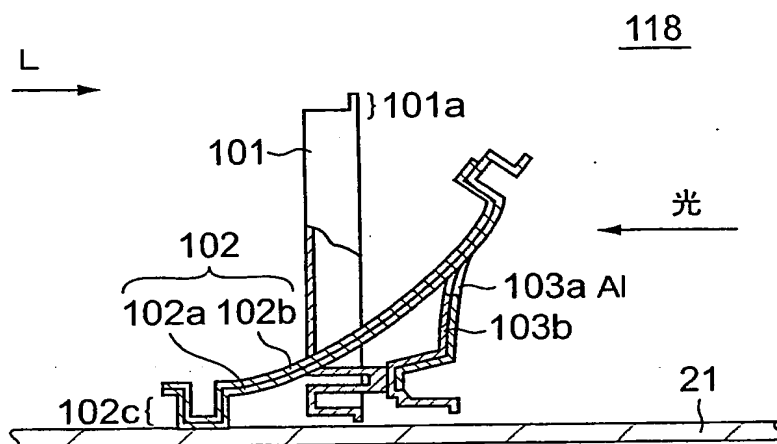
3004



34/44

図34

(a)



(b) L矢視図

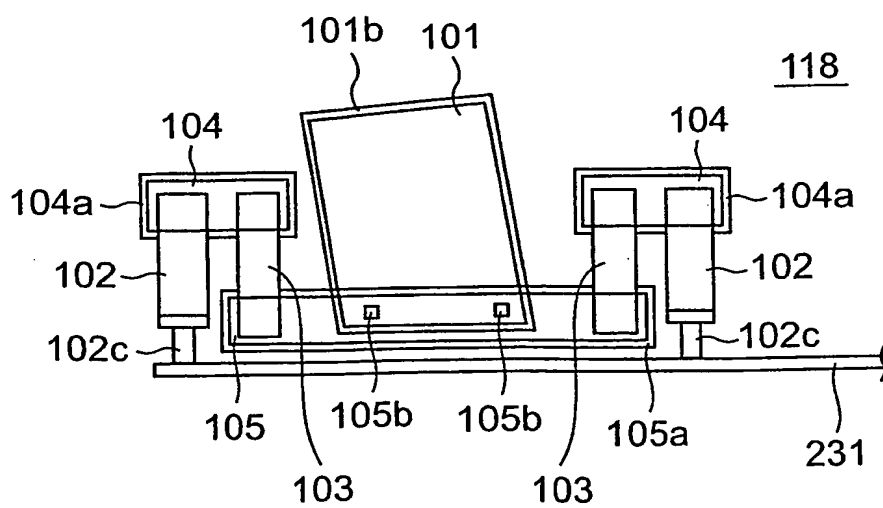


図35

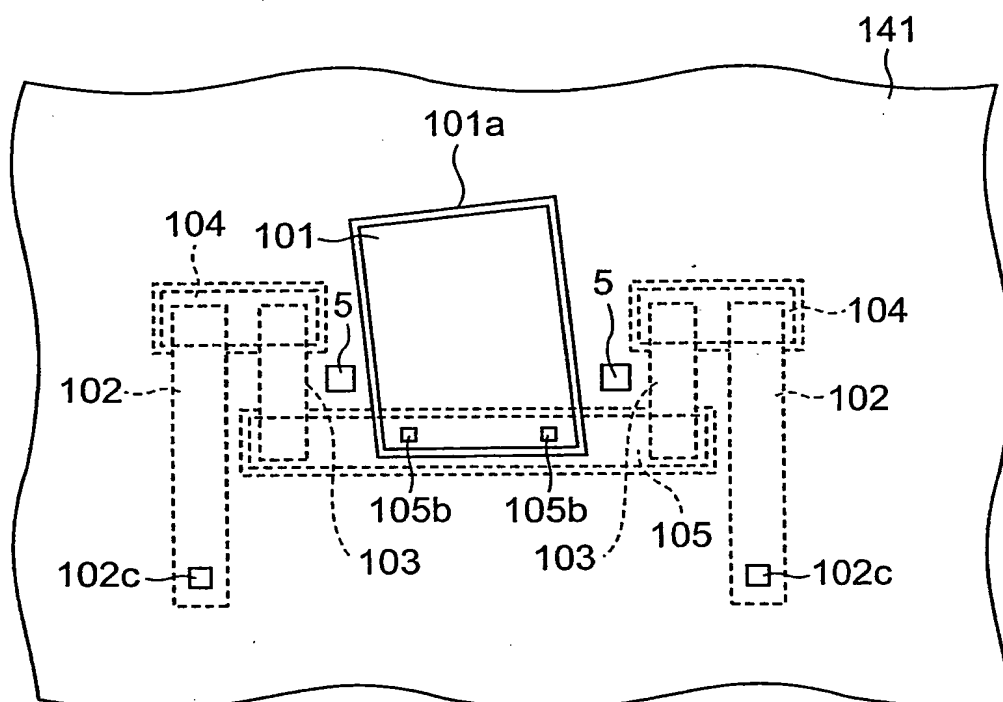
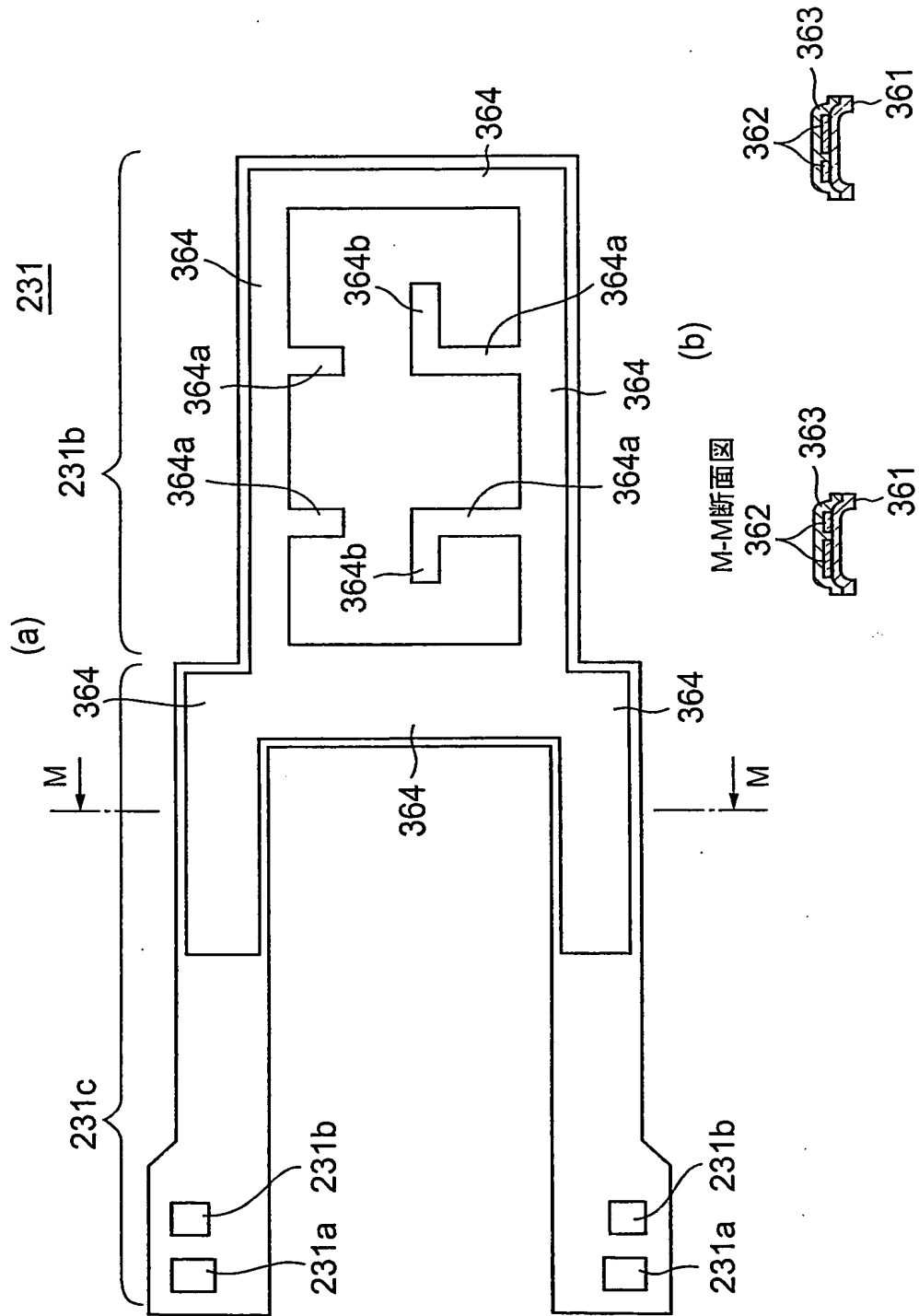


図36



37/44

図37

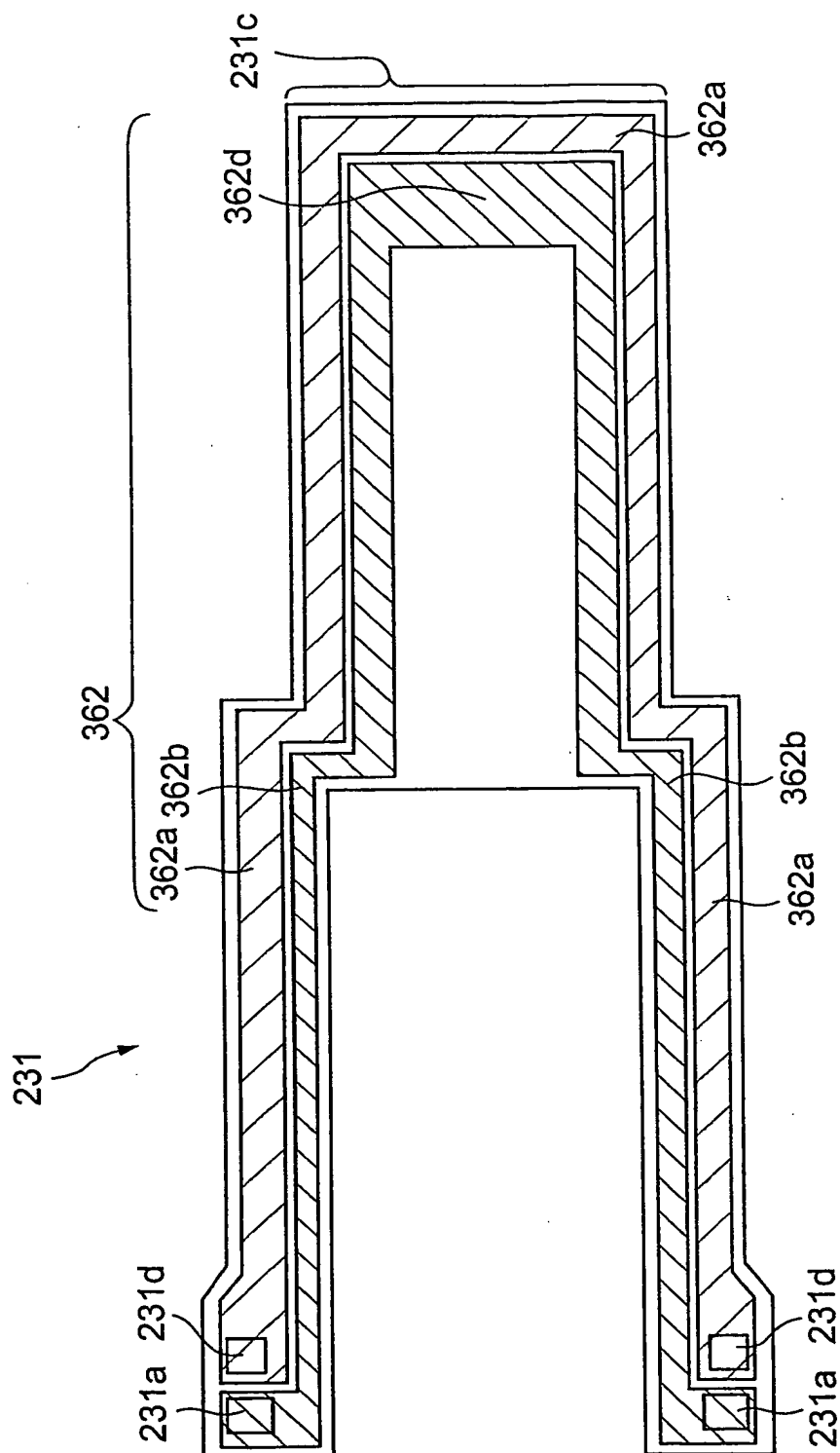


図38

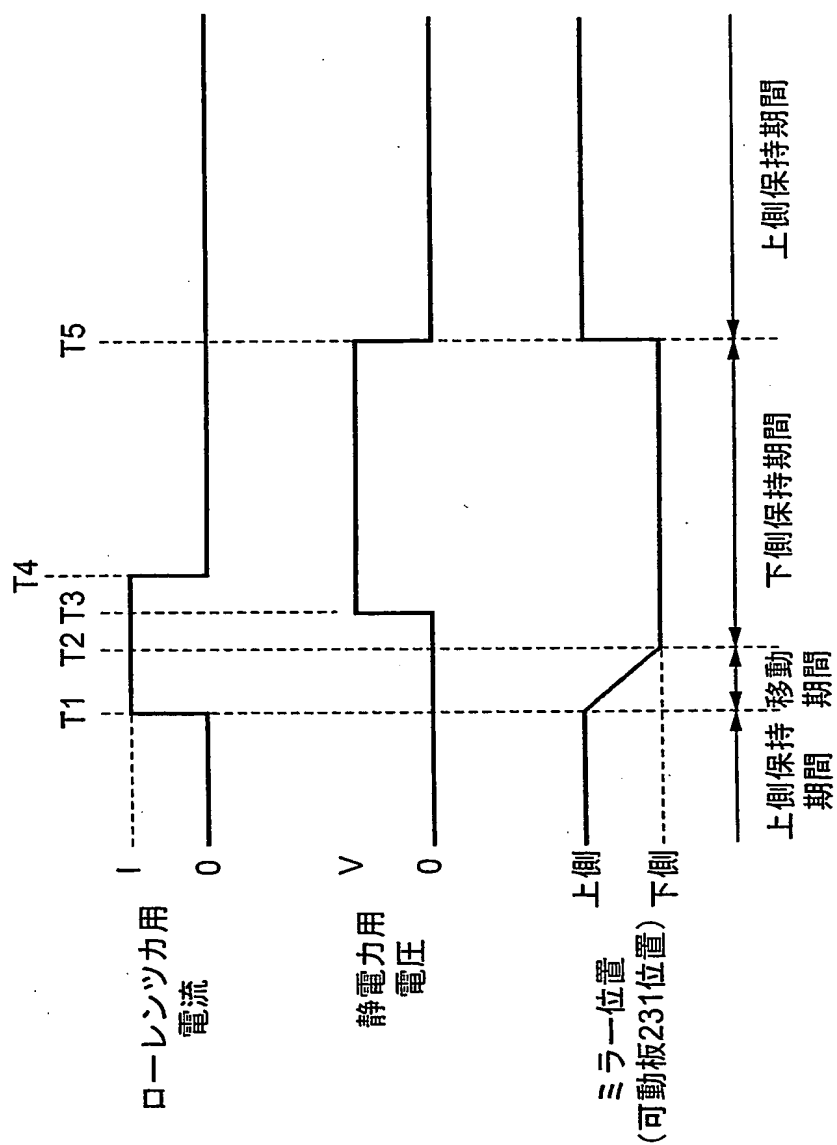


図39

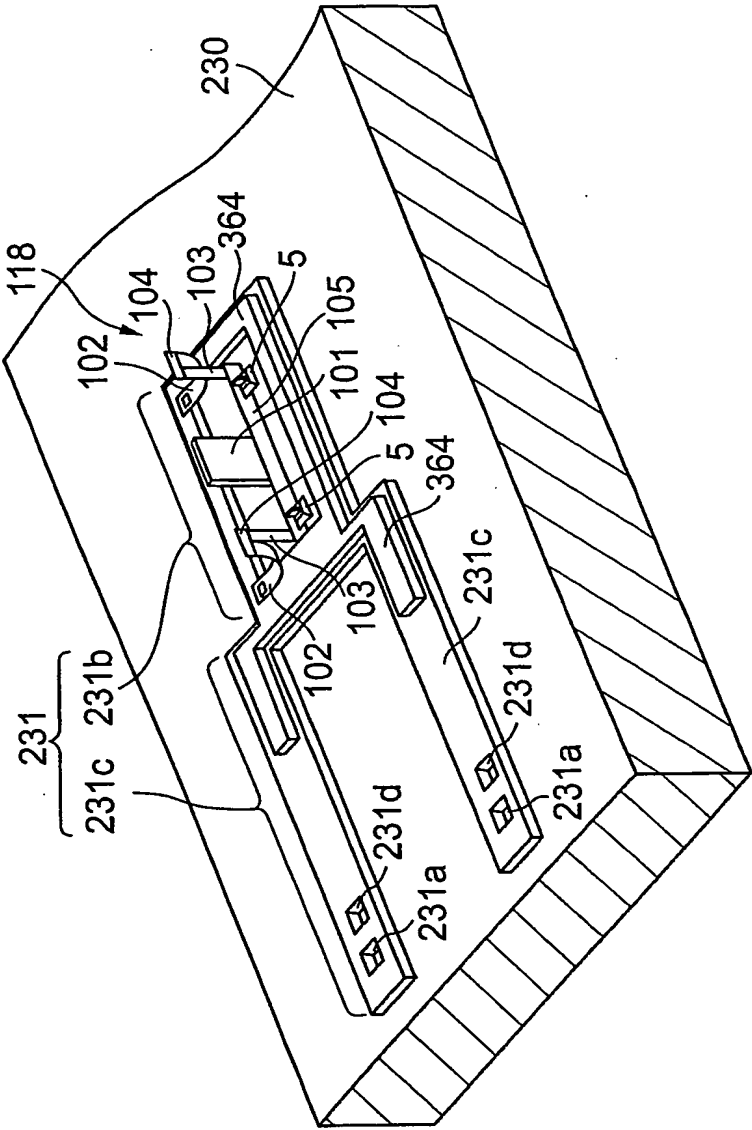


図40

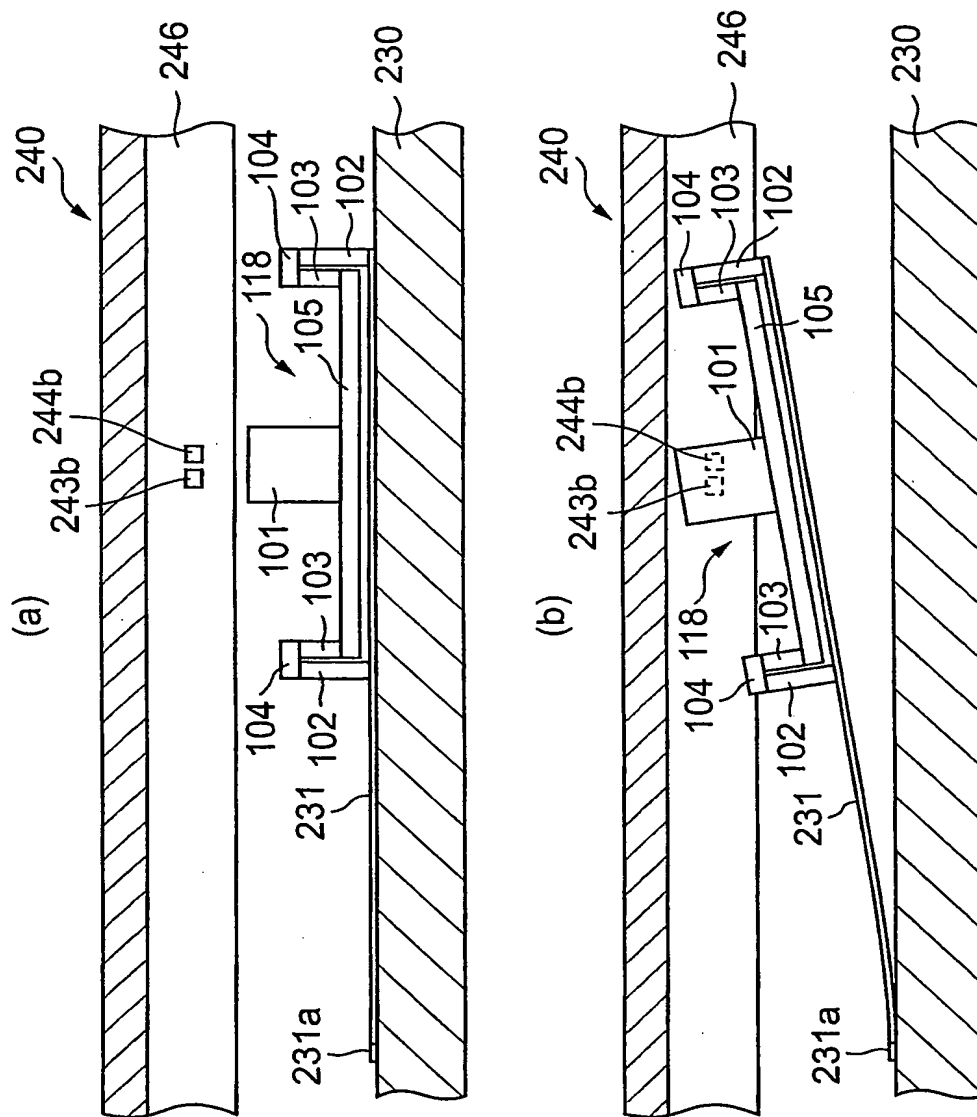


図41

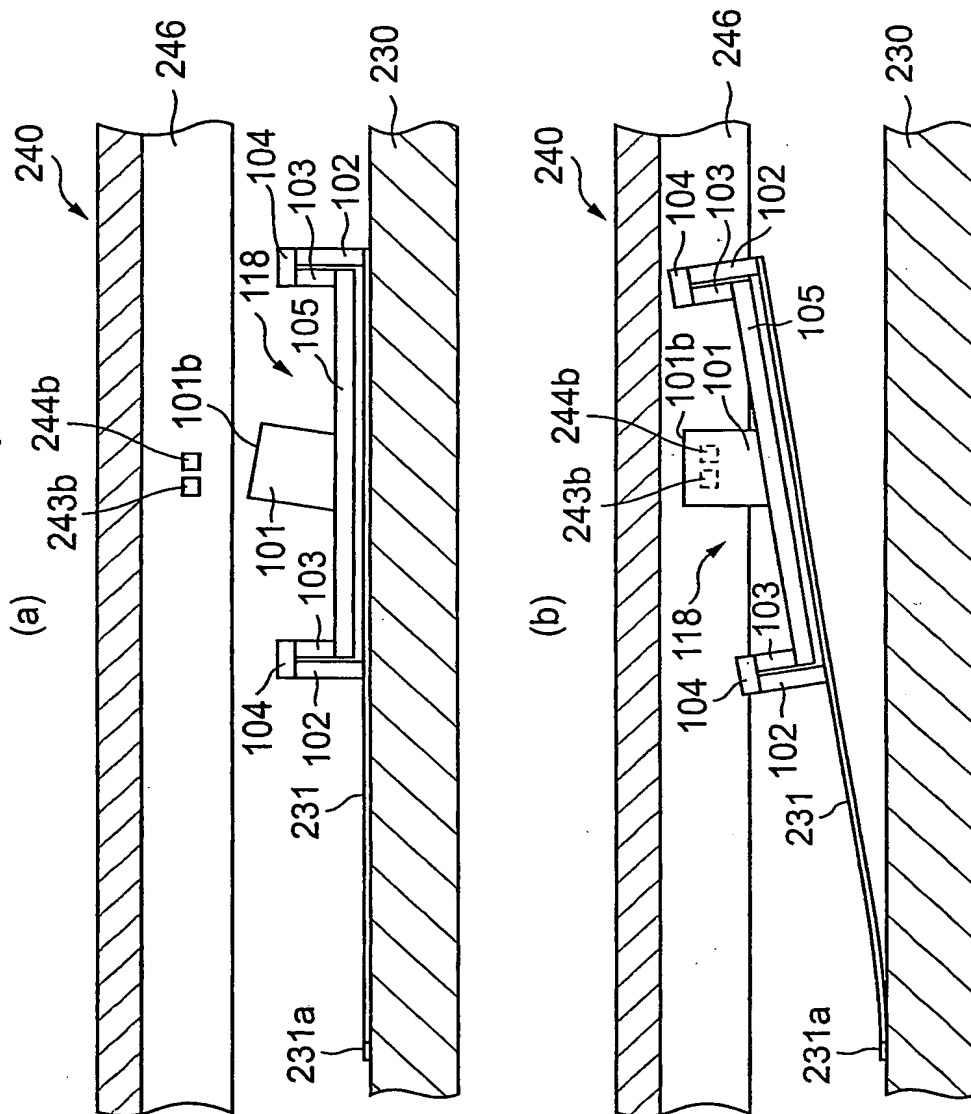


図43

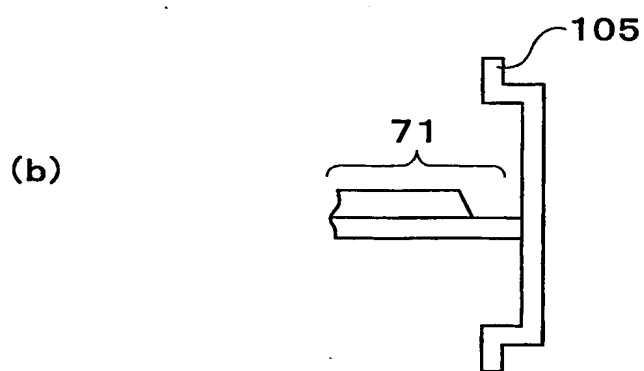
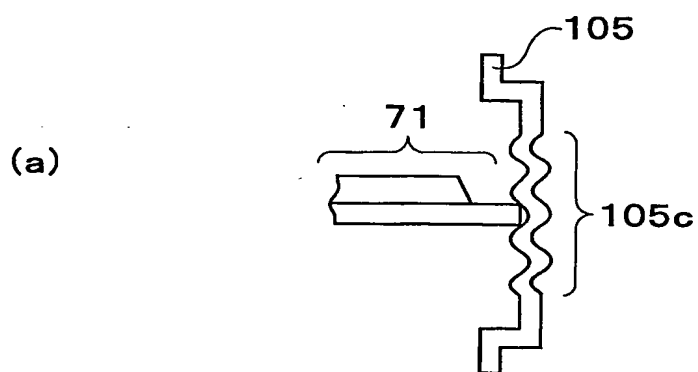


図44

